

SAIRAALOIDEN ENERGIA-ANALYYSI JA MAHDOLLI- SUUDET HIILINEUTRAALIIN ENERGIANKULUTUKSEEN

Hospitals' energy analysis and opportunities for net zero carbon energy consumption

Oskari Hareja

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Oskari Hareja

Sairaaloiden energia-analyysi ja mahdollisuudet hiilineutraaliin energiankulutukseen

2021

Kandidaatintyö.

35 s.

Tarkastajat: Tutkijaopettaja Antti Kosonen, Nuorempi tutkija Mirika Knuutila

Ohjaajat: Jani Valkama (HUS), Juha Rantasalo (Tyks)

asia-/hakusanat: sairaala, energiankulutus, hiilineutraali, energia-analyysi, energiatehokkuus

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja sairaaloiden hiilineutraaliin energiankulutukseen. Hiilineutraali energiankulutus rajattiin tarkoittamaan vain energiantuotannossa aiheutuvia päästöjä. Työssä energiankulutukseen kuuluvat varavoimala, sairaalahöyryntuotanto, sähkö-, lämpö- ja jäähdytysenergia. Tavoitteena oli esittää mahdollisuuksia hiilineutraaliin energiankulutukseen ja analysoida tutkittavien sairaaloiden kulustietoja ja nykyisiä tuotantolaitteistoja. Lisäksi laskettiin sairaaloiden vuoden 2019 energiankulutuksen hiilidioksidipäästöt.

Tutkittavien sairaaloiden energiankulutuksien analysoinnissa havaittiin, että sähkönkulutus keskittyy aamu- ja keskipäivälle. Viikottasolla kulutus keskittyy melko tasaisesti arkipäiviin ja laskee viikonlopuksi. Vuorokaudessa huippukulutus ajoittuu melko pitkälle ajalle noin kello 8–13, minkä jälkeen kulutus laskee tasaisesti iltaan mennessä. Matalin kulutus saavutetaan aamuyöllä kello 2–3. Sähkönkulutuksen kulutushuiput ajoittuvat ajankohtaan, milloin myös sairaaloiden käyttöaste on korkeimmillaan. Lämpöenergiankulutus ei seuraa sairaalan käyttöastetta kovinkaan merkittävästi, vaan on suoraan verrannollinen ilmaston lämpötilaan. Korkein lämpöenergiatarve on kylminä talvikuukausina ja matalin kesäkuukausina.

Hiilineutraali sähkönkulutus saavutetaan hankkimalla sähkönkulutuksen verran alkuperätaukuita. Lisäksi verkosta ostetun sähkön tueksi voidaan asentaa aurinkosähköjärjestelmä. Lämpöenergiatarve voidaan täyttää maalämpöpumpuilla tai uusimalla hiilineutraali kaukolämpösopimus. Myös jäähdytyksessä voidaan hyödyntää maalämpöä tai jatkaa vedenjäähdyttimien ja kaukojäähdytyksen käyttöä. Varavoimaloissa pitää suosia biopohjaisia polttoaineita, kuten myös sairaalahöyryntuotannossa. Sairaalahöyry voidaan tuottaa myös sähkökäyttöisillä pienemmillä laitteilla, jotka ovat alkuperätakuiden ansiosta hiilineutraaleja.

Hiilineutraalien ratkaisujen lisäksi energiatehokkuuden parantamiseksi esimerkiksi lämmöntalteenoton ja ikkunoiden eristyksen parantaminen vähentävät energiankulutusta. Investoinneilla on myös monia välillisiä vaikutuksia esimerkiksi markkinoinnissa ja sairaalan imagon muodostamisessa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Electrical Engineering

Oskari Hareja

Hospitals' energy analysis and opportunities for net zero carbon energy consumption

2021

Bachelor's Thesis.

35 p.

Examiners: Associate Professor Antti Kosonen, Junior Researcher Mirika Knuutila

Supervisors: Jani Valkama (HUS), Juha Rantasalo (Tyks)

This bachelor's thesis investigates the possibilities and alternatives to net zero carbon energy consumption in hospitals. Net zero carbon energy consumption was limited to emissions from energy production only. In this study, energy consumption includes a backup power plant, steam production, electricity-, heat- and cooling energy. The aim was to present the possibilities for net zero carbon energy consumption and to analyze the energy consumption of hospitals and the existing production equipment. In addition, the carbon dioxide emissions from the 2019 energy consumption of hospitals were calculated.

An analysis of hospital energy consumption found that electricity consumption is concentrated in the morning and noon. On a weekly basis, consumption focuses evenly on weekdays and falls over the weekend. Peak consumption per day is spread over a fairly long period of time from around 8 to 13, after which consumption falls steadily to the lowest levels by evening. The lowest consumption is reached in the morning at 2–3 o'clock. The peaks in electricity consumption occur at a time when the utilization rate of the hospital in question is at its highest. Thermal energy consumption does not follow the hospital's utilization rate very significantly but is directly related to the climate temperature. The highest heat energy demand is during the cold winter months and the lowest during the summer months.

Carbon-neutral electricity consumption is achieved by obtaining guarantees of origin for electricity consumption. In addition, a photovoltaic system can be installed to support electricity purchased from the grid. The heat energy demand can be met with geothermal heat pumps or by purchasing a carbon-neutral district heating contract. Ground heat source can also be utilized for cooling or the use of water coolers or district cooling can be continued. Bio-based fuels should be favored in reserve power plants, as well as in steam production. Steam production can also be generated by electrical equipment that is carbon neutral because of guarantees of origin.

In addition to carbon-neutral solutions to improve energy efficiency, for example, improving heat recovery and window emissions, reduce energy consumption. Investments have also many indirect effects, for example on marketing and the image of the hospital.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Johdanto..... | 6 |
| 1.1 | Tausta | 6 |
| 1.2 | Sairaalan osuus terveydenhuollossa | 7 |
| 2. | Tutkittavat sairaalat | 9 |
| 2.1 | Töölön sairaala | 9 |
| 2.2 | Peijaksen sairaala..... | 11 |
| 2.3 | Jorvin sairaala | 12 |
| 2.4 | Raaseporin sairaala | 13 |
| 2.5 | Hyvinkään sairaala | 15 |
| 2.6 | Tyks T-sairaala | 16 |
| 2.7 | Sairaaloiden energiankulutusten tarkastelua ja vertailu | 18 |
| 3. | Hiilineutraalit ratkaisut | 25 |
| 3.1 | Sähköenergia | 25 |
| 3.2 | Lämpöenergia ja jäähdytys | 26 |
| 3.3 | Sairalahöyryntuotanto ja varavoimala | 27 |
| 3.4 | Aiheesta tehtyjä tutkimuksia | 27 |
| 4. | Energiatehokkuusparannus ja hiilineutraalien ratkaisujen taloudellinen merkitys | 29 |
| 5. | Yhteenveto..... | 31 |
| | Lähteet | 32 |

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

| | |
|--------|---|
| GHGP | Greenhouse Gas Protocol |
| HUS | Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri |
| IRR | Internal Rate of Return, sisäinen korko |
| KYS | Kuopion yliopistollinen sairaala |
| LTO | Lämmöntalteenotto |
| PPA | Power Purchase Agreement, pitkäaikainen sähkönhankintasopimus |
| Tays | Tampereen yliopistollinen sairaala |
| Tyks | Turun yliopistollinen keskussairaala |
| UNFCCC | United Nation Framework Convention on Climate Change |

YKSIKÖT

| | |
|-------------------|-----------------------|
| € | Euro |
| g | Gramma |
| h | Tunti |
| K | Kelvin |
| m ² | Neliometri |
| m ³ | Kuutiometri |
| t CO ₂ | Tonnia hiilidioksidia |
| W | Watti |
| kWh | Kilowattitunti |
| GWh | Gigawattitunti |
| MWh | Megawattitunti |
| kW _p | Kilowattipiikki |

1. JOHDANTO

Vuonna 2015 laadittu Pariisin ilmastopimus pyrkii hidastamaan ilmastomuutosta. Sopimuksella halutaan rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle kahden celsius asteen verrattuna esiteolliseen aikaan. Tavoitteena on pyrkiä pitämään lämpötilan nousu alle 1,5 asteen. (UNFCCC 2015) Kun valtiot sitoutuvat ilmastopimukseen myös yritysten ja muiden organisaatioiden, kuten terveydenhuollon on alettava hillitsemään ilmaston lämpenemistä, jotta sopimuksen mukaiset tavoitteet saavutettaisiin. Näin ollen myös sairaalat ovat alkaneet kiinnittämään entistä enemmän huomiota kasvihuonepäästöihin ja niiden vähentämiseen.

1.1 Tausta

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia sairaaloiden nykyisiä hiilidioksidipäästöjä ja havaita päästöjenaiheuttajat. Lisäksi analysoidaan sairaaloiden energiankulutuksia ja niiden jakaumia. Havaituille päästöjenaiheuttajille esitetään ratkaisuja, jotka hyödyntävät uusiutuvia ja hiilineutraaleja energiantuotantotapoja. Tavoite on tuottaa ja hankkia sairaalan tarvitsema sairaalahöyry, varavoima ja sähkö-, jäähdytys- ja lämpöenergia hiilineutraalisti ottaen huomioon sairaalan erityistarpeet ja vaatimukset. Tutkittavista sairaaloista lasketaan myös vuoden 2019 energiankulutuksen kokonaishiilidioksidipäästöt.

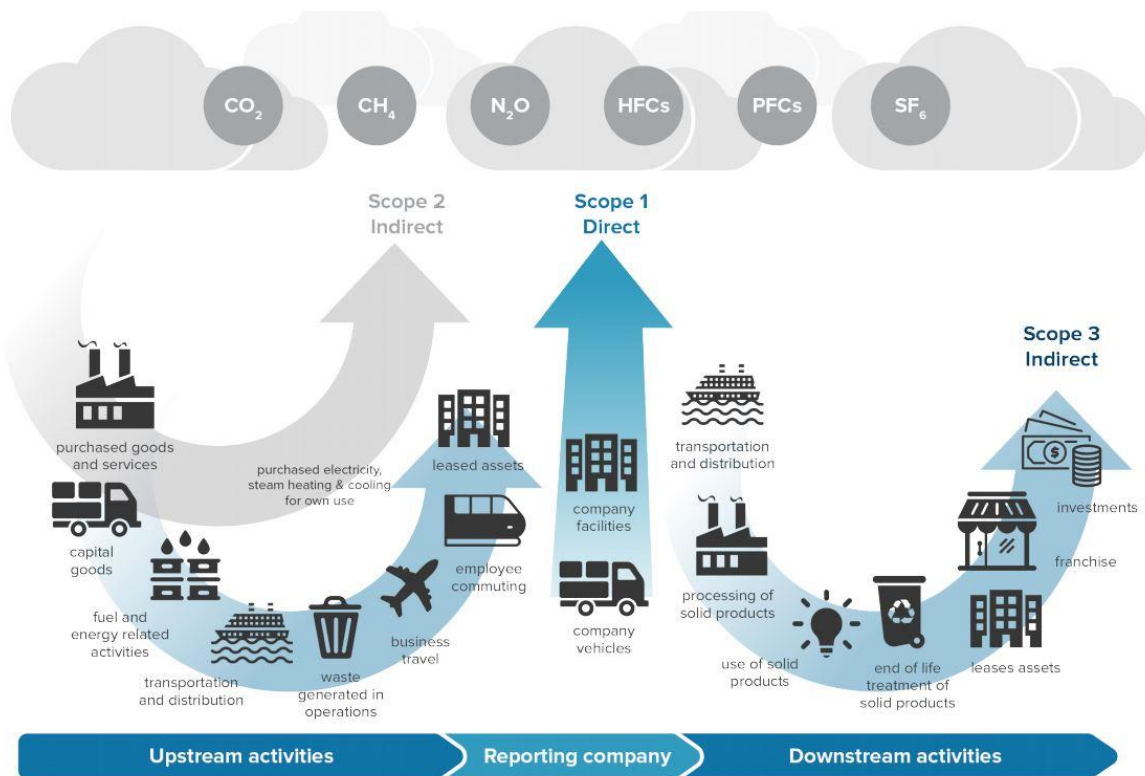
Termiä hiilineutraalius käytetään monella eri tavalla, joten se pitää määritellä väärinymmärrysten välttämiseksi aina erikseen. Hiilineutraaliuden rinnalla käytettyjä termejä ovat muun muassa ilmastoneutraalius ja kasvihuoneutraalius. Kasvihuonekaasuneutraalius termiä käytetään joissain yhteyksissä, jos halutaan korostaa myös muitakin kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidia, kuten dityppioksidi ja metaani. (Koljonen ym. 2020) Monissa yhteyksissä hiilineutraalius tarkoittaa, että vapautuvan ja takaisin ympäristöön sitoutuvan hiilidioksidin erotus tietyllä ajanjaksolla on nolla. Usein päästölaskennassa käytetty ajanjakso on vuosi. (Van Soest ym 2018) Tässä työssä hiilineutraaliutta tarkastellaan vain sairaalarakennuksien energiankäytön näkökulmasta eikä tarkastella muita sairaalarakennuksesta aiheutuvia päästöjä, kuten anestesiakaasuja tai jätteitä. Tässä työssä hiilineutraalius määritellään niin, että otetaan huomioon vain energiantuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt eikä oteta huomioon esimerkiksi energiantuotantolaitteistojen valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Toisin sanoen tässä työssä hiilineutraalius tarkoittaa, että sairaalarakennuksen energiankäytön hiilidioksidipäästöjen ja takaisin ympäristöön sitoutuvan hiilidioksidin erotus on nolla.

Työ on tehty yhteistyössä Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin (HUS) ja Turun yliopistollisen keskussairaalan (Tyks) kanssa. Näin ollen työssä tarkastellaan viittä HUSin toimipistettä ja Tyks:n T-sairaala, joiden pohjalta selvitetään hiilineutraaleja energiankulutuksen ratkaisuja ja lasketaan kyseisten sairaaloiden vuoden 2019 energiankulutuksen hiilidioksidipäästöt. Toimipisteet ovat Töölön sairaala Helsingissä, Peijaksen sairaala Vantaalla, Jorvin sairaala Espoossa, Raaseporin ja Hyvinkään sairaalat ja Tyks T-sairaala Turussa. Työssä hyödynnetään HUS:ltä ja Tyks:ltä saatua materiaalia ja mittausdataa toimipisteistä, mitkä mahdollistavat yksityiskohtaisemman ja tarkemman tarkastelun. Hiilineutraaliuden saavuttamiseksi hyödynnetään uusiutuvia ja muita päästöttömiä energiantuotantotapoja. HUS:ltä ja Tyks:ltä saatujen aineistojen lisäksi, työssä tarkastellaan kirjallisuusselvityksenä muita aiheesta tehtyjä tutkimuksia ja julkaisuja. Lisäksi selvitetään ja vertaillaan valittuja hiilineutraaleja ratkaisuja ja niiden merkitystä energiatehokkuuteen ja taloudellinen vaikutus pitkällä aikavälillä

1.2 Sairaalan osuus terveydenhuollossa

Yksittäisen sairaalan kasvihuonepäästöjä tarkasteltaessa pitää ottaa huomioon myös suuremman kokonaisuuden eli koko terveydenhuollon kasvihuonepäästöt. Terveydenhuollon päästöjen tarkasteluun voidaan käyttää laajalti käytössä olevaa Greenhouse Gas Protocol:n (GHGP) laatimia luokkia. Näiden luokkien avulla pystytään jakamaan kokonaisia organisaatioita ja toimitusketjuja pienempiin osiin. (GHGP 2021)

Globaalisti terveydenhuollon kasvihuonepäästöt globaaleista kasvihuonepäästöistä ovat noin 4,4 prosenttia, kun taas Suomessa osuus on noin 5 prosenttia. (Karlner ym. 2019) GHGP:n luokat on esitelty kuvassa 1.2.1. Kun kuvaa 1.2.1 sovelletaan terveydenhuoltoon, sairaalarakennuksen kasvihuonepäästöt ilmenevät luokissa 1 ja 2. Luokka 1 pitää sisällään suoraan sairaalassa aiheutuvat päästöt, kuten oman energiantuotannon ja lääkkeitä aiheutuvat anestesikaasut. Luokka 2 pitää sisällään ostetun energian ja muut hyödykkeet, kuten sähköenergian hankinta sähköverkosta ja lämpöenergian hankinta kaukolämpöverkosta. Luokka 3 pitää sisällään kaiken muun terveydenhuollosta aiheutuvat kasvihuonepäästöt. Globaalisti luokan 1 osuus on 17 prosenttia, luokan 2 on 12 prosenttia ja luokan 3 on 71 prosenttia. (Karlner ym. 2019)



Kuva 1.2.1: Greenhouse Gas Protocol luokat 1, 2 ja 3. (Bhatia ym. 2011)

Sairaalarakennuksen kokonaispäästöistä energiankulutuksen osuus on merkittävä. Itävallan terveydenhuollosta tehdyssä tutkimuksessa sairaalarakennusten osuus koko terveydenhuollon päästöistä oli 32 prosenttia. Tutkimuksen mukaan sairaalarakennuksen kokonaispäästöistä energiankulutuksen osuus oli 31 prosenttia. Muita merkittäviä tekijöitä olivat lääketieteellisten tuotteiden ja palveluiden ostot, joiden osuus oli 36 prosenttia ja lääkkeet, joiden osuus oli 19 prosenttia. (Weisz ym. 2020) HUSin vuoden 2019 vuosikertomuksen mukaan

sairaalarakennuksen suurimmat kasvihuonepäästöjen aiheuttajat olivat sähkö- ja lämpöenergia eli kaukolämpö. Sekä sähkö- että lämpöenergian osuus oli 35–45 prosenttia kokonaispäästöistä eli yhteensä 70–90 prosenttia. (HUS 2019)

Vertaillessa Itävallan sairaaloiden energiankulutusta HUSin sairaaloiden energiankulutukseen on HUSin energiankulutuksen päästöt prosentuaalisesti Itävallan päästöjä suuremmat. Syy suurempaan energiankulutuksen osuuteen kokonaispäästöissä ovat esimerkiksi erilaiset päästökertoimet, sairaaloiden sijainti ja selvityksissä tehdyt rajaukset. Sijainnilla tarkoitetaan sairaaloiden ympäristössä vallitsevaa ilmastoa. Suomi sijaitsee pohjoisemmassa ja kylmemmässä ilmastossa kuin Itävalta, joten lämmitykseen kuluu suhteessa enemmän energiaa. Energiankulutuksen päästöjen ollessa prosentuaalisesti suuremmat ei kuitenkaan tarkoita, että HUSin energiankulutuksen päästöt olisivat nettopäästöiltään suuremmat. Lisäksi HUSin ja Itävallan terveydenhuollon tutkimuksessa on tehty erilaisia rajauksia, joten tulokset eivät ole täysin vertailtavissa toisiinsa.

2. TUTKITTAVAT SAIRAALAT

Tässä luvussa esitellään ja tarkastellaan työssä tutkittavaa kuutta eri sairaalaa. Tarkastelu keskittyy sairaaloiden energiankulutukseen ja niiden ominaisuuksiin. Sairaalan energiankulutus koostuu useasta eri tekijästä riippuen sairaalan energiantuotantotavoista. Nämä tekijät ovat sairaalahöyryntuotanto, varavoimala, sähkö-, lämpö- ja jäähdytysenergia. Sairaaloiden erityistarpeita ovat varavoimala ja sairaalahöyry. Sairalahöyryä käytetään sairaalassa muun muassa välineiden puhdistukseen ja tuloilman kosteuttamiseen. (Helmiö 2017) Varavoimala toimii sairaaloiden varaenergiälähteenä poikkeustilanteissa tai esimerkiksi sähkökatkossa, jossa ulkoista sähköenergiaa ei ole saatavilla. (KYS 2015) SFS 6000-7-710 standardin mukaan varavoimalan on kyettävä syöttämään sähköä varavoimajärjestelmään vähintään 24 tuntia. (SFS 6000-7-710) Usein varavoimalat ja niiden polttoainesäiliöt ovat kuitenkin mitoitettu pitempään toiminta-aikaan poikkeustilanteessa. (KYS 2015)

Työssä tutkittavina olevissa sairaaloissa sairaalahöyryntuotanto on toteutettu joko erillisellä polttoaineella toimivalla koko sairaalahöyryn kattavalla voimalalla tai usealla laitekohtaisella sähkökäyttöisellä laitteistolla. Tässä tapauksessa sähkökäyttöisten sairaalahöyryntuotantolaitteiden kulutus sisältyy sähkönkulutukseen. Töölön, Jorvin, Raaseporin ja Tyks T-sairaala käyttävät maakaasulla tai kevyellä polttoöljyllä toimivia sairaalahöyryntuotantolaitteistoja ja Peijaksen ja Hyvinkään sairaaloilla on käytössä laitekohtaiset sähköllä toimivat laitteet. Kaikissa tutkittavissa sairaaloissa on käytössä kevyttä polttoöljyä käyttävä varavoimakattila. Varavoimaloita ei käytetä kuin erityistilanteissa, joten niiden vaikutus sairaalan kokonaisenergiankulutukseen on pieni. Jäähdytys on tuotettu sairaaloissa kahdella eri tavalla. Tyks T-sairaala käyttää kaukojäähdytystä, joka hyödyntää kaukojäähdytysverkostoja. Muissa sairaaloissa on käytössä sairaalakohtaiset vedenjäähdytyskoneet, joten jäähdytykseen tarvittu sähköenergia sisältyy kohteiden sähköenergiankulutukseen. (HUS 2020; Tyks 2021)

HUS on hankkinut vuodesta 2020 alkaen sähköenergiankulutukselleen uusiutuvan energian alkuperätakuut, joiden ansiosta sähköenergiankulutus on ollut vuodesta 2020 lähtien hiilineutraalia. Sähköenergiankulutusta vastaava energiantuotanto tuotetaan pääosin kotimaisella bioenergialla. (HUS 2020) Alkuperätakuu on Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n täysin omistaman tytäryhtiön Finextra Oy:n myöntämä sertifikaatti, joka varmistaa, että sähkö tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä tai tehokkaalla yhteistuotannolla. (Fingrid 2021) Näin ollen vuodesta 2020 lähtien HUSin sähköenergiankulutuksen hiilineutraalius on saavutettu, joten HUSin kohteiden osalta päästölaskennassa käytetään sähköenergialla päästökerrointa nolla.

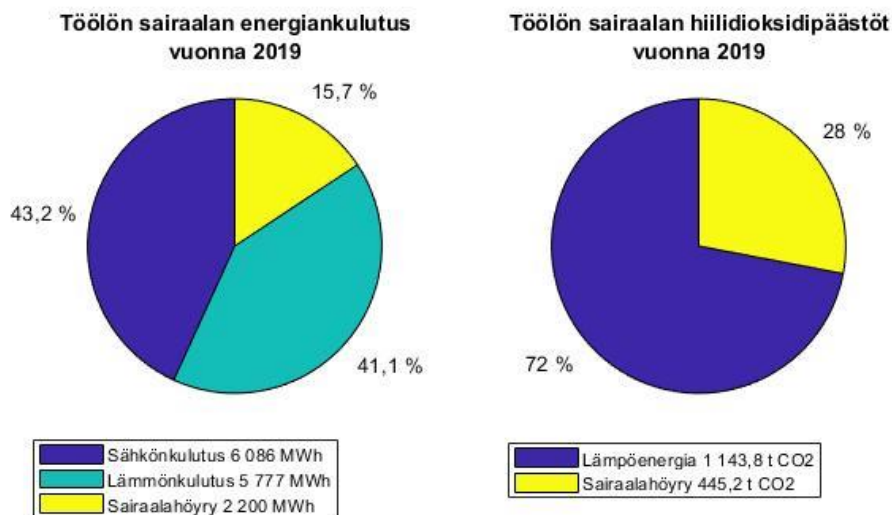
2.1 Töölön sairaala

Töölön sairaala sijaitsee Helsingissä. Sairaalan pinta-ala on 33 770 m². Vuonna 2019 kokonaisenergiankulutus oli 14,1 GWh. Sähkönkulutusta oli 6 086 MWh, joka oli 43,2 prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta. Pinta-alaan suhteutettuna sähkönkulutus oli 180 kWh/m². Vuonna 2019 lämpöenergiaa kului 5 777 MWh, joka oli 41,1 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Töölön sairaalan tilavuus on 116 920 m³, joten lämpöenergia suhteutettuna lämmitettävään tilavuuteen oli 49 kWh/m³ ja pinta-alaan 171 kWh/m². Vedenjäähdyttimillä katetaan sairaalan jäähdytyksen tarve. Jäähdytykseen käytetty energia sisältyy sähkönkulutukseen. Lisäksi Töölön sairaalassa on käytössä sairaalahöyryntuotantoon maakaasulla toimiva kattila. Sairalahöyryntuotantoon vuonna 2019 kului 2 200 MWh. Sairalahöyryn osuus kokonaiskulutuksesta oli 15,7 prosenttia. Töölön sairaalassa on käytössä varavoimalana kevyellä

polttoöljyä käyttävä kattila, jota ei tavallisesti käytetä testiajoja lukuun ottamatta. (HUS 2020)

Sähköenergialle on hankittu alkuperätakuut, joten päästökerroin on nolla. (Covenant of Mayors 2021) Lämpöenergianlähteenä käytetään kaukolämpöverkkoa, jonka vuoden 2019 päästökerroin oli 198 g CO₂/kWh. (Helen 2021) Sairaalahöyry tuotetaan maakaasukattilassa. Sairaalahöyryn päästökertoimenä käytetään maakaasun päästökertointa 199,1 g CO₂/kWh. (Tilastokeskus 2021)

Töölön sairaalassa energiankulutuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä vuonna 2019 oli kokonaisuudessaan 1 589 t CO₂. Lämpöenergian osuus energiankulutuksen kokonaispäästöistä oli 72 prosenttia eli 1 143,8 t CO₂. Sairaalahöyryn osuus kokonaispäästöistä oli 28 prosenttia eli 445,2 t CO₂. Varavoimalan käyttö on hyvin vähäistä, joten varavoimalan aiheuttamia päästöjä ei oteta laskuissa huomioon. Sähkönkulutus ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä alkuperätakuiden ansiosta. Taulukossa ja kuvassa 2.1.1 on esitetty Töölön sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksien suuruudet ja kulutuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.1.1: Töölön sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.1.1: Vuoden 2019 Töölön sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

| | |
|---|---------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 14,1 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 1 589 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 6 086 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 180,2 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 5 777 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 49,4 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 171,1 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 1 143,8 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 198 |

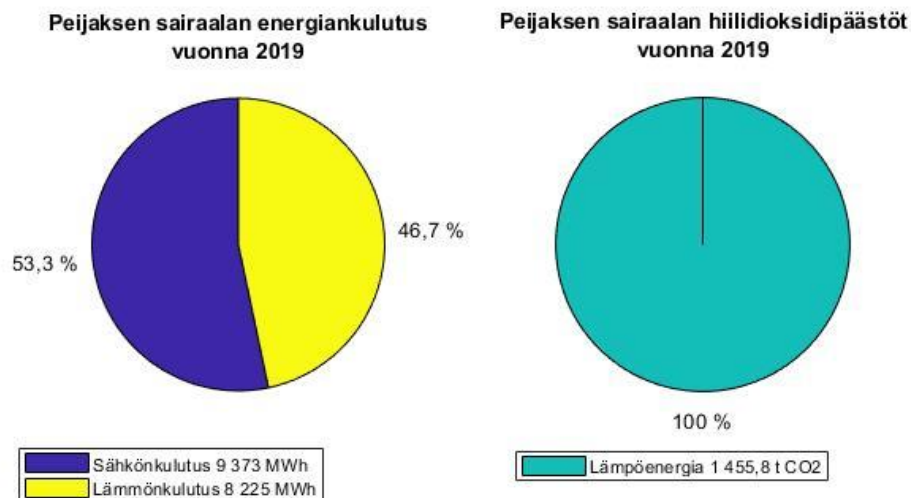
| | |
|--|---------|
| Sairaalahöyryntuotanto [MWh] | 2 200 |
| Maakaasun päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 199,1 |
| Sairaalahöyryn päästöt [t CO ₂] | 445,2 |
| Pinta-ala [m ²] | 33 770 |
| Tilavuus [m ³] | 116 920 |

2.2 Peijaksen sairaala

Peijaksen sairaala sijaitsee Vantaalla. Sairaalan pinta-ala on 54 390 m² ja tilavuus 205 860 m³. Sairaalan kokonaisenergiankulutus vuonna 2019 oli 17,6 GWh. Kokonaiskulutuksesta Sähköenergian osuus oli 53,3 prosenttia eli 9 373 MWh. Lämpöenergiankulutus oli 8 225 MWh, joka oli 46,7 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Sähkönkulutus pinta-alaa kohti oli 172,3 kWh/m² ja lämmönkulutus pinta-alaa kohti oli 151 kWh/m². Lämpöenergiankulutus suhteutettuna tilavuuteen oli 40 kWh/m³. Varavoimalana toimii kevyttä polttoöljyä käyttävä kattila. Tavallisesti varavoimalan käyttö rajoittuu vain koekäyttöihin, joten sen kulutus on hyvin vähäistä. Peijaksen sairaalassa sairaalahöyryä tuotetaan laitekohtaisesti sähköllä, joten sairaalahöyryntuotanto sisältyy sähkönkulutukseen. Myös jäähdytys sisältyy sähkönkulutukseen ja jäähdytyksessä käytetään vedenjäähdyttimiä. (HUS 2020)

Myös Peijaksen sähköenergiankulutuksen päästökerroin on alkuperätakuiden takia nolla. (Covenant of Mayors 2021) Lämpöenergian lähteenä käytetään kaukolämpöä, jonka päästökerroin oli vuonna 2019 177 g CO₂/kWh. (Vantaan Energia 2021)

Energiankulutuksesta hiilidioksidipäästöjä Peijaksen sairaalassa vuonna 2019 aiheutui 1 456 t CO₂. Kaikki päästöt aiheutuivat lämmönkulutuksesta, koska sairaalahöyry tuotetaan sähköenergialla ja sähköenergiankulutus on hiili neutraalia. Varavoimalan koekäytöstä aiheutuvia päästöjä ei oteta laskennassa huomioon, koska varavoimalan käyttö on hyvin vähäistä. Taulukossa ja kuvassa 2.2.1 on esitetty Peijaksen sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksen suuruudet ja kulutuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.2.1: Peijaksen sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.2.1: Vuoden 2019 Peijaksen sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

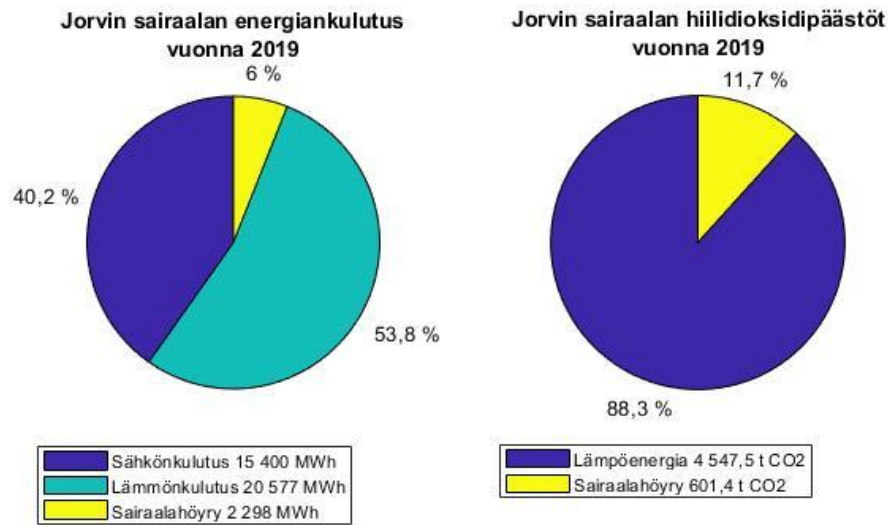
| | |
|---|---------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 17,6 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 1 455,8 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 9 373 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 172,3 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 8 225 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 40,0 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 151,2 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 1 455,8 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 177 |
| Pinta-ala [m ²] | 54 390 |
| Tilavuus [m ³] | 205 860 |

2.3 Jorvin sairaala

Espoossa sijaitseva Jorvin sairaala on tutkittavista sairaaloista suurin sekä pinta-alaltaan että kokonaisenergiankulutukseltaan. Sairaalan pinta-ala on 108 050 m², tilavuus 368 930 m³ ja energiankokonaiskulutus vuonna 2019 oli 38,3 GWh. Kokonaiskulutuksesta sähköenergian osuus oli 40,2 prosenttia eli 15 400 MWh. Sähkönkulutus pinta-alaan nähden oli 141,9 kWh/m². Lämpöenergiaa kului 20 577 MWh, joka oli 53,8 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Lämmitettävään tilavuuteen suhteutettuna lämpöenergiankulutus oli 55,8 kWh/m³ ja pinta-alaan suhteutettuna 190 kWh/m². Sairaalahöyryä tuotetaan Jorvin sairaalassa kevyttä polttoöljyä käyttävällä kattilalla, minkä energiankulutus oli 2 298 MWh. Sairaalahöyryntuotannon osuus kokonaiskulutuksesta oli 6 prosenttia. Varavoima on toteutettu kevyttä polttoöljyä käyttävällä kattilalla, jota käytetään vain testikäytöissä ja poikkeustilanteissa, joten voimalan käyttö on vähäistä. Jäähdytyksen hoidetaan vedenjäähdyttimillä, joiden kulutus sisältyy sähkönkulutukseen. (HUS 2020)

Lämpöenergianlähteenä on kaukolämpö, jonka päästökerroin oli 221 g CO₂/kWh. (Fortum 2021) Sairaalahöyry tuotetaan kevyellä polttoöljyllä kattilassa, joten päästökerroin on 261,72 g CO₂/kWh. (Tilastokeskus 2021) Sähkönkulutuksen päästökerroin on nolla, koska sähkönkulutukselle on hankittu alkuperätakuut. (Covenant of Mayors 2021)

Hiilidioksidipäästöjä Jorvin sairaalan energiankulutuksesta aiheutui vuonna 2019 5 149 t CO₂. Edellä mainitulla päästökertoimella lämpöenergiankulutuksesta aiheutuu päästöjä 4 547,5 t CO₂, joka oli 88,3 prosenttia kokonaispäästöistä. Sairaalahöyryntuotannosta aiheutui päästöjä 601,4 t CO₂. Sen osuus kokonaispäästöistä oli 11,7 prosenttia. Sähköenergiankulutuksesta ei aiheudu päästöjä, joten myös jäähdytys on päästötöntä. Lisäksi varavoimalan testikäytöstä aiheutuvia päästöjä ei oteta huomioon vähäisen käytön vuoksi. Taulukossa ja kuvassa 2.3.1 on esitetty Jorvin sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksien suuruudet ja kulutuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.3.1: Jorvin sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.3.1: Vuoden 2019 Jorvin sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

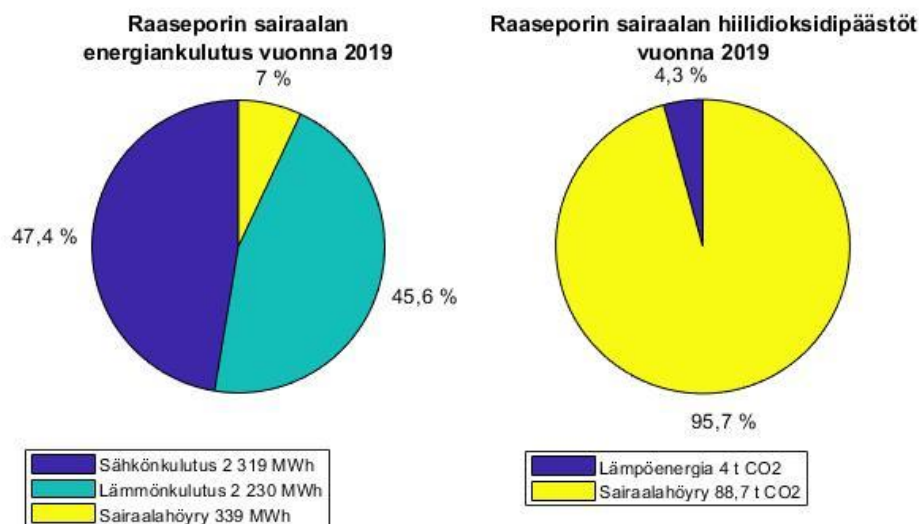
| | |
|---|---------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 38,3 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 5 148,9 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 15 400 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 141,9 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 20 577 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 55,8 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 191,4 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 4 547,5 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 221 |
| Sairaalahöyryntuotanto [MWh] | 2 298 |
| Kevyen polttoöljyn päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 261,72 |
| Sairaalahöyryn päästöt [t CO ₂] | 601,4 |
| Pinta-ala [m ²] | 108 050 |
| Tilavuus [m ³] | 368 930 |

2.4 Raaseporin sairaala

Raaseporin sairaala on tutkittavista sairaaloista pienin pinta-alaltaan ja energian kokonaiskulutukseltaan. Pinta-ala on 21 590 m² ja tilavuus 68 970 m³. Sairaalan energiankulutus vuonna 2019 oli 4,9 GWh. Sähköenergiankulutus oli 2 319 MWh, jonka osuus kokonaiskulutuksesta oli 47,4 prosenttia. Sähkönkulutus pinta-alaan nähden oli 107,4 kWh/m². Lämpöenergiankulutus vuonna 2019 oli 2 230 MWh, jonka osuus oli 45,6 prosenttia. Lämmitettävään tilavuuteen nähden kulutus oli 32,3 kWh/m³ ja pinta-alaan nähden 103 kWh/m². Sairaalahöyryn osuus oli 7 prosenttia eli 339 MWh. Sairaalahöyry tuotetaan kattilalla, joka käyttää polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Varavoima toteutetaan kevyttä polttoöljyä käytävällä kattilalla. Jäähdytystarpeen täyttää vedenjäähdyttimet, joiden energiankulutus sisältyy sähkönkulutukseen. (HUS 2020)

Tästä syystä kaukolämmön päästökertoimenä vuonna 2019 oli 1,8 g CO₂/kWh. (Raaseporin energia 2021) Sairaalahöyryntuotannossa polttoaineena käytettävän kevyen polttoöljyn päästökertoimenä käytetään arvoa 261,72 g CO₂/kWh. (Tilastokeskus 2021) Sähköenergiankulutuksen päästökerroin on nolla alkuperätakuiden takia. (Covenant of Mayors 2021)

Raaseporin sairaalan kokonaishiilidioksidipäästöt energiankulutuksen osalta olivat 92,7 t CO₂. Lämpöenergiankulutuksesta aiheutui hiilidioksidipäästöjä 4 t CO₂. Lämmönkulutuksesta aiheutuvien päästöjen osuus kokonaispäästöistä oli hyvin pieni 4,3 prosenttia, koska Raaseporin energia tuotti vuonna 2019 lämpöä Tammisaaren kaukolämpöverkkoon 99,6 prosenttia biopolttoaineilla. Sairaalahöyryntuotannosta aiheutui hiilidioksidipäästöjä 88,7 t CO₂, joka oli 95,7 % kokonaispäästöistä. Varavoimalan hiilidioksidipäästöjä ei oteta huomioon, koska sen käyttö on hyvin vähäistä. Lisäksi sähkönkulutus on päästötöntä, joten myöskään jäähdytyksestä ei aiheudu hiilidioksidipäästöjä. Taulukossa ja kuvassa 2.4.1 on esitetty Raaseporin sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksien suuruudet ja kulutuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.4.1: Raaseporin sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.4.1: Vuoden 2019 Raaseporin sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

| | |
|---|-------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 4,9 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 92,7 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 2 319 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 107,4 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 2 230 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 32,3 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 103,3 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 4 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 1,8 |
| Sairaalahöyryntuotanto [MWh] | 339 |

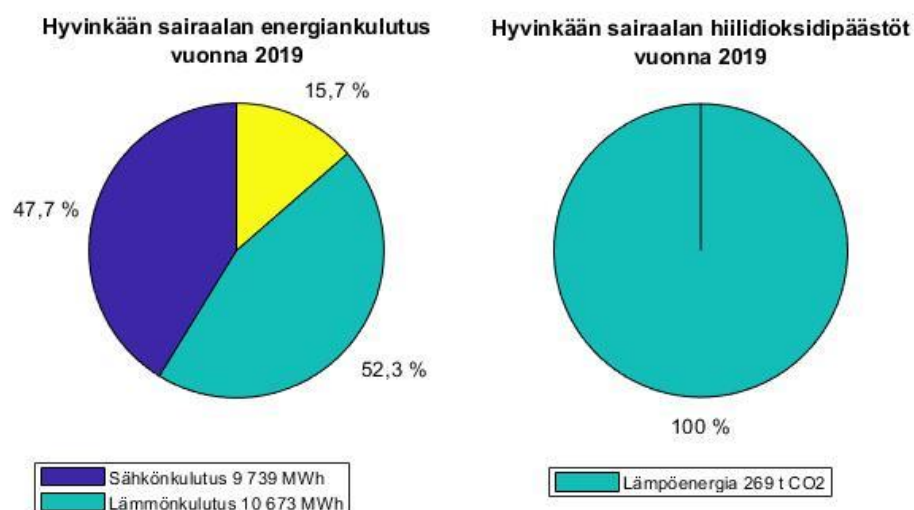
| | |
|--|--------|
| Keveyen polttoöljyn päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 261,72 |
| Sairaalahöyryn päästöt [t CO ₂] | 88,7 |
| Pinta-ala [m ²] | 21 590 |
| Tilavuus [m ³] | 68 970 |

2.5 Hyvinkään sairaala

Hyvinkään sairaalan pinta-ala on 77 910 m² ja tilavuus 287 360 m³. Kokonaiskulutus vuonna 2019 oli 20,4 GWh. Sähköenergian osuus oli 47,7 prosenttia eli 9 739 MWh. Sähkönkulutus pinta-alaa kohti oli 125 kWh/m². Lämpöenergiankulutus oli 10 673 MWh, joka oli 52,3 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Lämpöenergiankulutus suhteutettuna lämmitettävään tilavuuteen oli 37,1 kWh/m³ ja pinta-alaan suhteutettuna 137 kWh/m². Hyvinkään sairaalassa sairaalahöyry tuotetaan laitekohtaisesti sähköllä, joten sairaalahöyrynkulutus sisältyy sähkönkulutukseen. Myös jäähdytys sisältyy sähkönkulutukseen, koska jäähdytys toteutetaan vedenjäähdyttimillä. Varavoimalana toimii kevyt polttoöljy kattila, jota ei poikkeustilannetta lukuun ottamatta käytetä pois lukien testikäytöt. (HUS 2020)

Sähkönkulutuksen päästökerroin on alkuperätakuiden ansiosta nolla. (Covenant of Mayors 2021) Lämpöenergianlähteenä käytetään kaukolämpöverkkoa, jonka päästökerroin oli 10,66 g CO₂/kWh. (Hyvinkään lämpövoima 2021)

Energiankulutuksen kokonaishiilidioksidipäästöt vuonna 2019 olivat 269 t CO₂. Hiilidioksidipäästöt aiheutuvat vain lämpöenergiankulutuksesta, koska sairaalahöyry tuotetaan sähköllä, joka on päästötöntä. Näin ollen myös jäähdytys on päästötöntä. Varavoimalan käyttö on hyvin vähäistä, joten sen aiheuttamia päästöjä ei oteta laskennassa huomioon. Taulukossa ja kuvassa 2.5.1 on esitetty Hyvinkään sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksen suuruudet ja kulutuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.5.1: Hyvinkään sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.5.1: Vuoden 2019 Hyvinkään sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

| | |
|---|---------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 20,4 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 269 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 9 739 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 125 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 10 673 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 37,1 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 137 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 269 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 25,2 |
| Pinta-ala [m ²] | 77 910 |
| Tilavuus [m ³] | 287 360 |

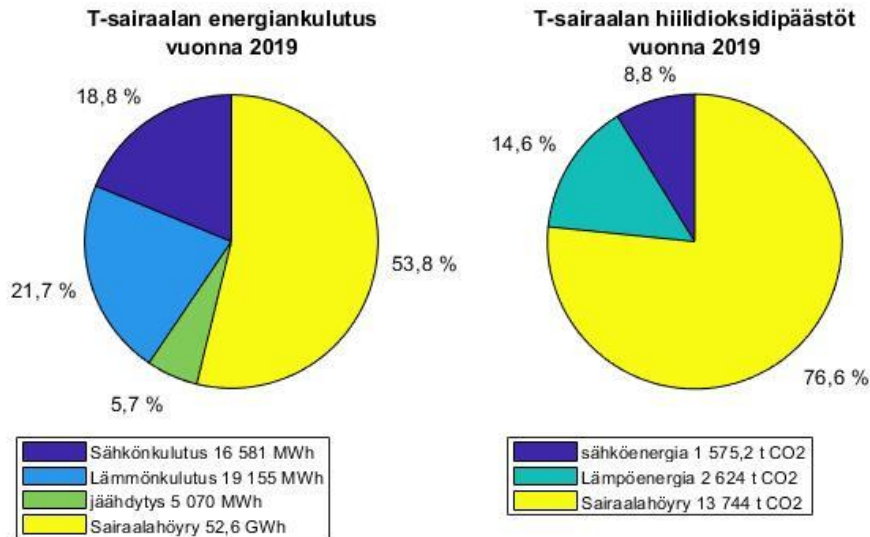
2.6 Tyks T-sairaala

Tyksin T-sairaala sijaitsee Turussa. T-sairaalan tilavuus on 489 970 m³ ja pinta-ala 107 317 m². Kokonaisenergiankulutus vuonna 2019 oli 88,2 GWh. Sähkönkulutus oli 16 581 MWh, joka oli pinta-alaan suhteutettuna 154,5 kWh/m². Lämpöenergiankulutus oli 19 155 MWh ja lämmönkulutus tilavuutta kohti oli 39,1 kWh/m³ ja pinta-alaa kohti 178 kWh/m². Sähköenergiankulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta oli 18,8 prosenttia ja lämmönkulutuksen osuus 21,7 prosenttia. Jäähdytyksenä käytettiin kaukojäähdytystä, jonka vuosienergiankulutus oli 5 070 MWh. Kaukojäähdytyksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli 5,7 prosenttia. Lämmön ja jäähdytyksen data ei ollut saatavilla kuin 0,1 MWh resoluutiolla, joka on tuntidataan liian suuri resoluutio varsinkin jäähdytystarpeen ulkopuolella, joten näiden kulutusten arvoissa ilmenee pientä virhettä. Kaukojäähdytys tuotettiin käyttämällä hiilineutraalia sähköenergiaa Kakolan lämpöpumpuilla ja Biolaakson ja Itäharjun vedenjäähdyttimillä. Jäähdytyksen tuotannossa käytetty sähköenergia on täysin uusiutuvilla energialähteillä tuotettua, joten jäähdytys on tuotettu T-sairaalassa hiilineutraalisti. Sairaalahöyryntuotantoon kului energiaa 52,6 GWh, jonka osuus kokonaiskulutuksesta oli 53,8 prosenttia. Sairaalahöyrynkulutus on todella suuri verrattuna muihin tutkittaviin sairaaloihin, koska T-sairaalan käyttämää lämpökattilaa käyttävät myös muun muassa sairaanhoitopiirin ympärivuorokautinen välinehuolto ja talousrakennuksessa sijaitseva kantasairaalan keittiö, jotka kuluttavat vuotuisesta sairaalahöyrystä valtaosan. Tarkempaa jakaumaa, kuinka paljon välinehuolto, kantasairaalan keittiö ja itse T-sairaala käyttävät sairaalahöyryä ei ollut saatavilla, joten käytetään laskennassa kyseisen lämpökattilan kokonaiskulutusta. Sairaalahöyry tuotettiin Tullitorven keskitetyllä lämpökattilalla, joka käyttää polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. (Tyks 2021)

Sähkönkulutukselle ei olla hankittu alkuperätakuuta eikä tarkkaa päästökerrointa ollut saatavilla, joten käytetään sähkönkulutuksen päästökertoimenä Turku Energian sähköenergian päästökerrointa 95 g CO₂/kWh. (Turku Energia 2021) Kaukolämmön päästökerroin oli 137 g CO₂/kWh. (Turku Energia 2019) Sairaalahöyrynkä päästökertoimenä käytettiin kevyen polttoöljyn arvoa 261,72 g CO₂/kWh. (Tilastokeskus 2021)

T-sairaalan energiankulutuksesta aiheutui vuonna 2019 hiilidioksidipäästöjä 17 943,4 t CO₂. Sähkönkulutuksesta aiheutui hiilidioksidipäästöjä 1 575,2 t CO₂. Lämmönkulutuksesta aiheutui päästöjä 2 624 t CO₂. (Turku Energia 2019) Sairaalahöyryntuotannosta aiheutui päästöjä 13 744 t CO₂. Kaukojäähdytyksestä ei aiheudu hiilidioksidipäästöjä, koska jäähdytys on

tuotettu käyttämällä uusiutuvia ja hiilineutraaleja energiantuotantotapoja. (Tyks 2021) Sähköenergiasta aiheutuvien päästöjen osuus oli 8,8 prosenttia, lämpöenergian 14,6 prosenttia ja loput 76,6 prosenttia aiheutui sairaalahöyryntuotannosta. Taulukossa ja kuvassa 2.6.1 on esitetty Tyks T-sairaalan vuoden 2019 energiankulutuksien suuruudet ja kulutuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja niiden päästökertoimet.



Kuva 2.6.1: Tyks T-sairaalan sairaalan energiankulutus ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vuonna 2019.

Taulukko 2.6.1: Vuoden 2019 Tyks T-sairaalan energiankulutuksen ja niistä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen arvoja.

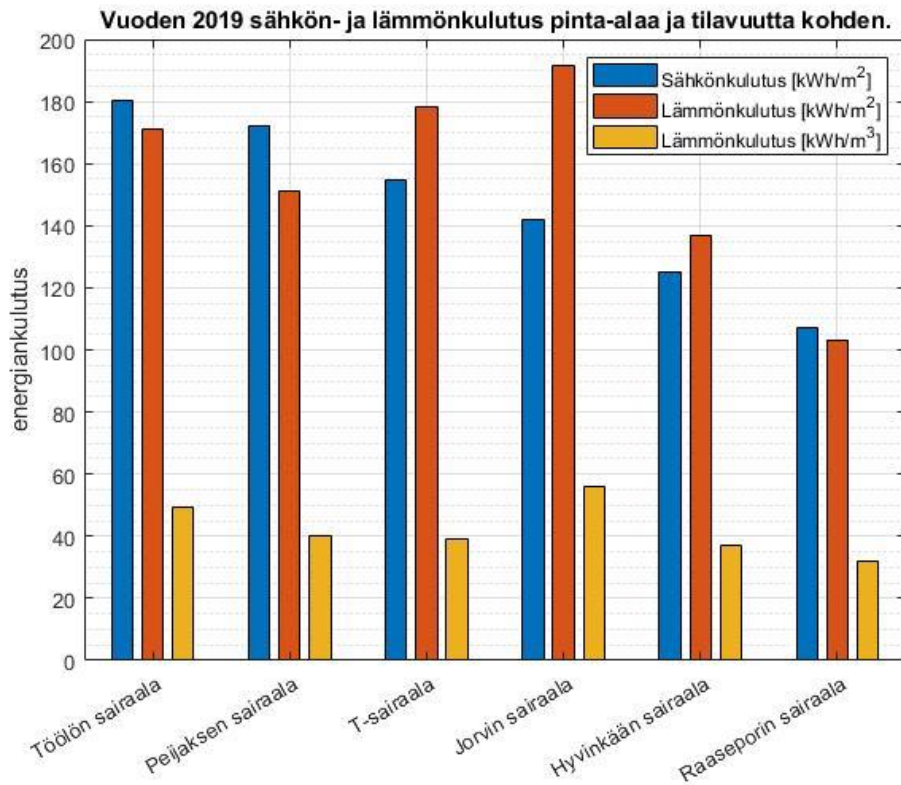
| | |
|---|----------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 88,2 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 17 943,4 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 16 581 |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 154,5 |
| Sähkönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 1 575,2 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 95 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 19 155 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 39,1 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 178,5 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 2 624,2 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 137 |
| Sairalahöyryntuotanto [GWh] | 52,5 |
| Kevyen polttoöljyn päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 261,72 |
| Sairalahöyryn päästöt [t CO ₂] | 13 744,0 |
| Jäähdytyksen kulutus [MWh] | 5 070,1 |
| Pinta-ala [m ²] | 107 317 |
| Tilavuus [m ³] | 489 970 |

2.7 Sairaaloiden energiankulutusten tarkastelua ja vertailu

Tässä luvussa tarkastellaan ja vertaillaan sairaaloiden sähkö- ja lämpöenergiankulutusten jakaumia. Kulutusta tarkasteltaessa voidaan havaita muun muassa eri kohteiden huippukulutukset ja niiden ajankohdat. Lisäksi, kun samanlaisia kohteita on useita, voidaan vertailla eri kohteiden kulutuksia toisiinsa ja onko joissakin kohteissa poikkeavaa kulutusta muihin verrattuna. Eri kohteita vertaillessa pitää kuitenkin ottaa huomioon, että kohteiden energiankulutukset ja niiden jakaumat eivät ole täysin samanlaisia. Voidaan kuitenkin todeta, että työssä tutkittavien sairaaloiden kulutustarpeet ovat riittävän samanlaisia, jotta voidaan suorittaa vertailua. Luvussa esitetyt kuvat kertovat koko vuoden kulutuksen tiettyinä aikaväleillä eikä eroavaisuuksia esimerkiksi kesä- ja talviaikana. Voidaan kuitenkin huomioida, että kesällä lämmityksen tarve on pienempi kuin talvella ja talvella jäähdytyksen tarve on pienempi kuin kesällä. Kohteiden energiankulutukset ovat suhteutettu joko pinta-alan tai tilavuuden suhteen, jotta eri kokoisten kohteiden kulutukset olisivat vertailtavissa. Tilavuuksien osalta pitää kuitenkin huomioida, että HUSin kohteiden tilavuudet on laskettu kertomalla pinta-ala ja keskimääräinen kerroskorkeus, joten tilavuuksissa esiintyy pientä virhettä.

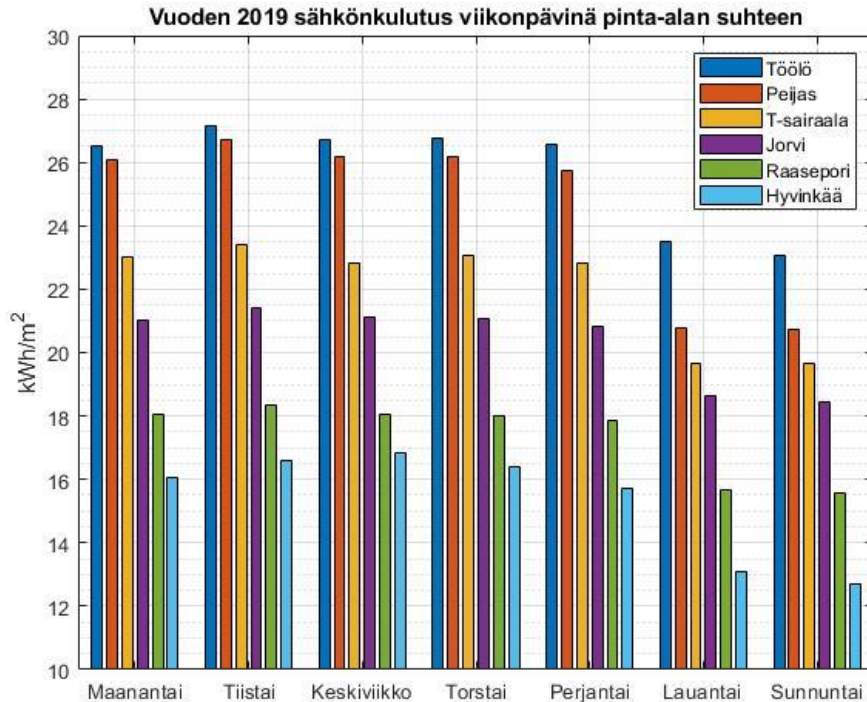
Kuvasta 2.7.1 voidaan tarkastella tutkittavien sairaaloiden vuoden 2019 sähkön- ja lämmönkulutusta. Energiankulutukset on suhteutettu pinta-alan ja tilavuuden suhteen. Suurin sähkönkulutus pinta-alaan nähden on Töölön sairaalalla noin 180 kWh/m². Pienin sähkönkulutus pinta-alaan nähden on Raaseporin sairaalalla noin 108 kWh/m². Sähkönkulutus pinta-alaan suhteutettuna vaikuttaa muun muassa sairaalan energiantensiivisyys eli kuinka tehokkaasti sairaalarakennuksessa käytetään sähköenergiaa pinta-alaa kohden. Sairaalarakennuksessa energiantensiivisyyteen vaikuttaa muun muassa tilojen käyttöaste ja käyttötarkoitus eli minkälaisia laitteistoja, toimintoja tai muita vastaavia sähkönkulutukseen vaikuttavia tekijöitä on kyseisissä tiloissa käytössä.

Lämmönkulutus on esitetty pinta-alan ja tilavuuden suhteen. Toisaalta lämpöenergialla lämmitetään rakennuksen tilavuutta eikä pinta-alaa, mutta tässä työssä päätettiin, että tarkastellaan myös lämmönkulutuksen arvoja pinta-alaan suhteutettuna, jotta saadaan tarkempia tuloksia. Lisäksi tilavuuden arvoa lisää esimerkiksi rakennusten arkkitehtuuriset ratkaisut, kuten suuren kattokorkeuden omaavat vastaanottoaulat. Pinta-alaan nähden suurin lämpöenergiankulutus oli Jorvin sairaalalla, joka oli noin 190 kWh/m². Vastaavasti pienin lämmönkulutus oli Raaseporin sairaalassa noin 105 kWh/m². Lämpöenergiankulutukseen kohteiden välillä vaikuttaa muun muassa rakennusten eristävyys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde. Vuotuisen lämpöenergiankulutukseen vaikuttaa myös ilmaston ja sään vaihtelut. Tutkittavia sairaaloita vertaillessa sään vaihtelulla ei ole kovinkaan suurta merkitystä, koska kaikki sairaalat sijaitsevat Etelä-Suomessa ja melko lähellä toisiaan.



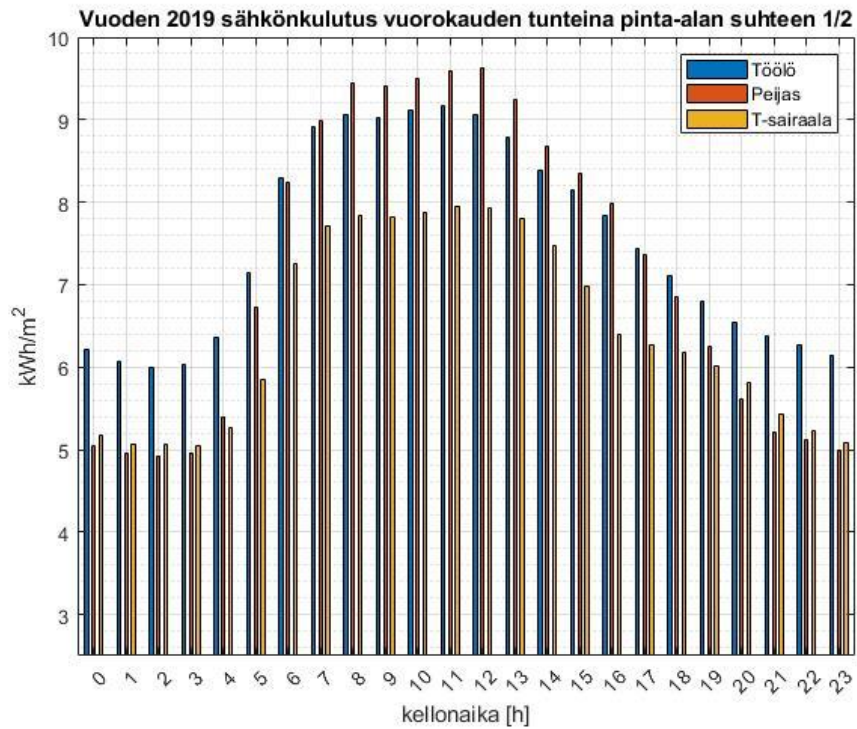
Kuva 2.7.1: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 sähkön- ja lämmönenergiankulutus pinta-alan ja tilavuuden suhteen.

Kuvasta 2.7.2 voidaan tarkastella sairaaloiden sähköenergiankulutuksen vaihtelua eri viikonpäivinä. Kaikkien kohteiden osalta kulutus keskittyy arkipäiviin ja viikonlopuksi sähkönkulutus vähenee. Tutkittavien kohteiden osalta arkipäivien ja viikonloppuun välinen ero on noin 13–21 prosenttia. Viikonloppuna sähköenergiankulutusta on vähemmän, koska sairaalan käyttöaste pienenee viikonloppuna, jolloin potilaita ja henkilökuntaa on vähemmän. Arkipäivinä sähkönkulutus on melko tasaista, mutta tiistaina useassa sairaalassa sähkönkulutus oli hieman suurempaa kuin muina arkipäivinä. Syytä tiistain suuremmalle sähkönkulutukselle ei työn sallimissa puitteissa löydetty. Tiistaina kulutuksen nousu on suhteessa hyvin pieni, kun kulutus jaetaan vuoden jokaiselle tiistaille, joten syytä kyseiselle kulutuksen nousulle voi olla hankala löytää. Myös kuvassa 2.7.2 esiintyvä sairaaloiden välinen sähkönkulutuksen vaihtelu johtuu sairaaloiden ominaisuuksista, kalustosta ja energiaintensiivisyydestä. Suurimmat sähkönkulutukset pinta-alaan suhteutettuna ovat Töölön ja Peijaksen sairaaloilla ja pienimmät Raaseporin ja Hyvinkään sairaaloilla.

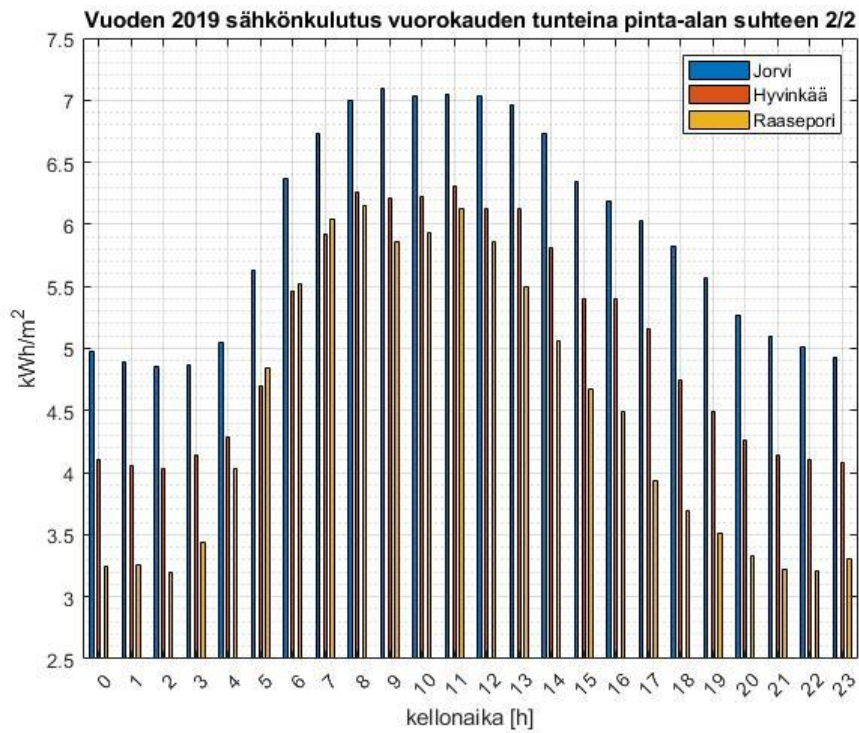


Kuva 2.7.2: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 sähköenergiankulutus viikonpäiville sairaaloiden pinta-alaa nähden. Jokainen viikonpäivä sisältää kaikki vuoden kyseisinä päivinä kulutetun sähköenergian.

Kuvissa 2.7.3 ja 2.7.4 on esitetty sairaaloiden kulutus vuorokauden tuntien mukaan. Kuvissa on käytetty koko vuoden sähkönkulutuksen tuntidataa, joka on jaettu vuorokauden tunneille ja suhteutettu sairaaloiden pinta-alojen mukaan. Kuvista havaitaan, että sairaaloiden sähkönkulutuksen kulutushuippu asettuu aamulle ja keskipäivälle noin kello 7–13. Iltapäivällä kulutus laskee melko tasaisesti, kunnes noin kello 20–21 kulutus tasaantuu ja pysyy melko tasaisena koko yön aamuun asti. Pienin kulutus esiintyy tyypillisesti aamuyöllä noin kello kahden ja kolmen välillä. Myös vuorokauden tuntien mukaan esiteltynä suurin sähkönkulutus on Töölön sairaalalla suhteessa sairaalan pinta-alaan. Pienin kulutus on Raaseporin sairaalalla. Suurimpia eroja sairaaloiden välillä esiintyy erityisesti iltapäivällä. Huippukulutuksen lasku iltaa kohti noin kello 20–21 asti tapahtuu sairaaloissa eri tavalla. Esimerkiksi kuvasta 2.7.4 voidaan huomata, että Raaseporin sairaalassa kulutus laskee nopeammin ja jyrkemmin iltaa kohti verrattuna Jorvin sairaalaan, jossa sama kulutuksen lasku ei tapahdu yhtä jyrkästi. Lisäksi Raaseporin sairaalassa huippukulutuksen ja kulutus pohjan välillä on suurempi ero kuin Jorvin sairaalalla. Jorvissa kulutus laskee huippukulutuksesta noin 2 kWh/m² ja Raaseporissa noin 2,75 kWh/m². Iltapäivällä ja illalla kulutukseen vaikuttaa muun muassa käytössä olevien vuodepaikkojen määrä ja tilojen käyttöaste eli kuinka paljon tiloja on ympärivuorokautisessa käytössä. Sairaaloissa kulutus nousee melko nopeasti noin kello 6 alkaen kohti huippukulutusta. Kulutus nousee aamulla, koska hoitohenkilökunta tulee aamulla töihin, jolloin tiloja ja niiden laitteita otetaan käyttöön. Aamukuudesta sähkönkulutus nousee lähes huippukulutukseen noin kello kahdeksan aikoihin.

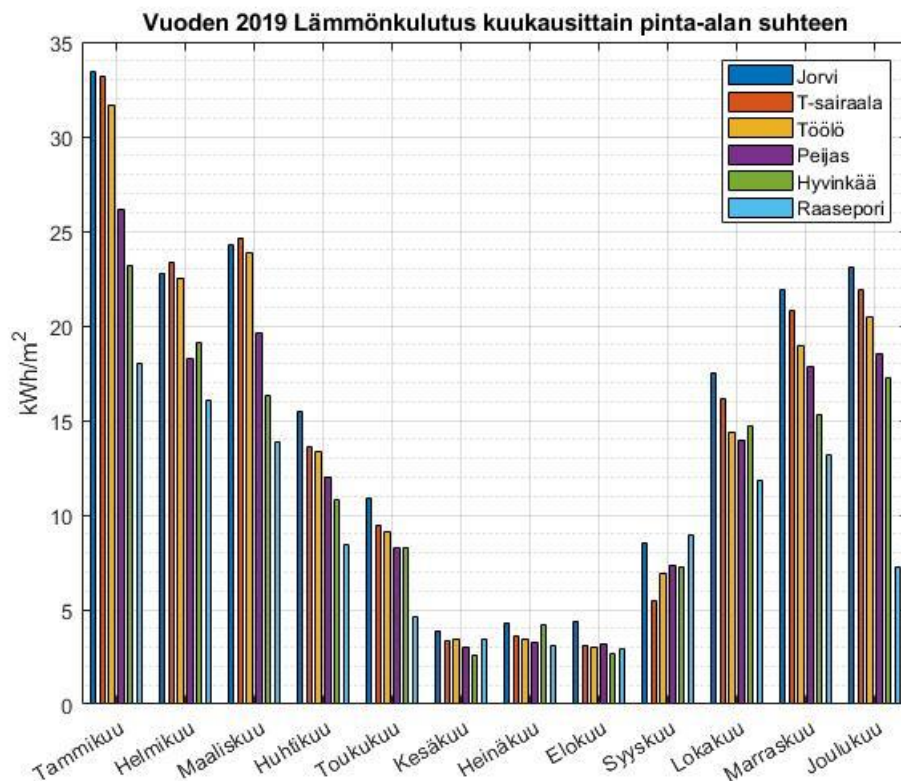


Kuva 2.7.3: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 sähköenergiankulutus vuorokauden tunteina pinta-alaa nähden. Jokainen kellonaika sisältää vuoden jokaisen kyseisenä tuntina kuluneen sähköenergian.

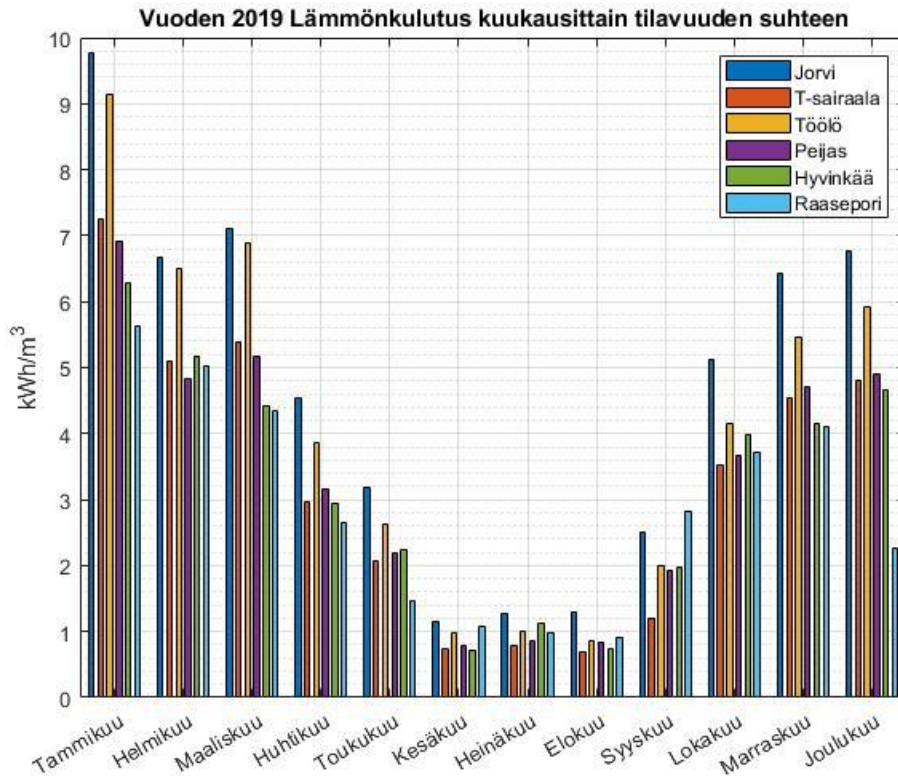


Kuva 2.7.4: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 sähköenergiankulutus vuorokauden tunteina pinta-alaa nähden. Jokainen kellonaika sisältää vuoden jokaisen kyseisenä tuntina kuluneen sähköenergian.

Lämpöenergiankulutukset on esitetty kuvissa 2.7.5 ja 2.7.6. Kuvissa on esitetty koko vuoden lämpöenergiankulutus kuukausina sekä tilavuuteen että pinta-alaan suhteutettuna. Kuvista huomataan, että lämpöenergiankulutus on kesäkuukausina vähäisempää ja talvikuukausina suurempaa. Kuukaudet eivät ole kuitenkaan täysin vertailtavissa toisiinsa, koska kuukaudet ovat eri pituisia esimerkiksi vuonna 2019 helmikuussa oli vain 28 päivää. Helmikuun osalta eron voi huomata selkeästi myös kuvaajista, joissa tammi- ja maaliskuuhun verrattuna kulutus ei laske kesäkuukausia kohti tasaisesti, vaan muodostaa pienen epätasaisuuden. Lämpöenergiantarpeeseen vaikuttaa merkittävästi ilmaston lämpötila. Näin ollen lämpöenergiankulutus on suoraan verrannollinen ilmaston lämpötilaan. Esimerkiksi työssä tarkasteluvuotena on käytetty vuotta 2019, jolloin tammikuun keskilämpötila Helsingissä oli $-5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Ilmatieteen Laitos 2021) Tällöin myös lämpöenergiankulutus oli suurta. Koko vuotta tarkasteltaessa huomataan, että lämmönkulutuksen huippu ajoittuu tammikuulle ja laskee tasaisesti kesäkuukausiin, jolloin kulutus on pienintä. Syyskuusta lähtien kulutus nousee melko tasaisesti, jolloin kulutushuippu ajoittuu vuodesta riippuen joului- tai tammikuussa. Raaseporin kohdalla joulukuussa kulutus on pientä verrattuna muiden sairaaloiden joulukuun kulutuksiin, koska datassa oli tuolloin joitain aukkoja.



Kuva 2.7.5: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 lämpöenergiankulutus kuukausina pinta-ala kohti.



Kuva 2.7.6: Kuvaajassa on esitetty vuoden 2019 lämpöenergiankulutus kuukausina tilavuutta kohti.

Taulukossa 2.7.1 on koottu työssä tutkittavien sairaaloiden kulutus- ja hiilidioksidipäästöjen tietoja. Kokonaishiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2019 suurimmat T-sairaalalla, mutta valtaosa T-sairaalan päästöistä aiheutuu sairaalahöyryntuotannosta, koska sairaalahöyryntuotantokattilaa käyttää myös sairaanhoitopiirin välinehuolto ja kantasairaalan keittiö. Jos oletetaan, että T-sairaala käyttäisi sisäiseen välinehuoltoon ja muihin tarpeisiin sairaalahöyryä noin 2 200 MWh vuosittain olisi T-sairaalan kokonaishiilidioksidipäästöt 4 775 t CO₂. Tällä laskutavalla Jorvin sairaalan hiilidioksidipäästöt olisivat suurimmat 5 149 t CO₂. Vastaavasti Raaseporin sairaalalla on pienimmät päästöt noin 5 t CO₂. Tutkittavista sairaaloista vain T-sairaalalla aiheutui sähkönkulutuksesta hiilidioksidipäästöjä 1 575 t CO₂, koska sähkönkulutukselle ei ole hankittu alkuperätakuuta. Kaikissa kohteissa on lämmönlähteenä kaukolämpö ja kaukolämmön päästöt riippuvat paikallisen energiayhtiön lämmöntuotannon hiilijalanjäljestä. Suurimmat kaukolämmön päästökertoimet omaavat pääkaupunkiseudun kohteet eli Töölö, Peijas ja Jorvi, koska paikalliset energiayhtiöt käyttävät lämmöntuotannossa runsaasti fossiilisia polttoaineita. Pienimmät kaukolämmön päästöt ovat Raaseporissa, jossa lämpö tuotetaan lähes kokonaan biopolttoaineilla. Sairalahöyryntuotannossa suurimmat hiilidioksidipäästöt aiheutuvat kohteissa, joissa on käytössä lämpökattilat, jotka käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä.

Taulukko 2.7.1: Tutkittavien sairaaloiden vuoden 2019 energiankulutukset ja hiilidioksidipäästöjen arvoja.

| | Töölö | Peijas | T-sairaala | Jorvi | Hyvinkää | Raasepori |
|---|---------|---------|------------|---------|----------|-----------|
| Kokonaiskulutus [GWh] | 14,1 | 17,6 | 88,2 | 38,3 | 20,4 | 4,9 |
| Kokonaishiilidioksidipäästöt [t CO ₂] | 1 589 | 1 455,8 | 17 943,4 | 5 148,9 | 269 | 92,7 |
| Sähkönkulutus [MWh] | 6 086 | 9 373 | 16 581 | 15 400 | 9 739 | 2 319 |
| Sähkönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | -* | -* | 1 575,2 | -* | -* | -* |
| Sähkönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 180,2 | 172,3 | 154,5 | 141,9 | 125 | 107,4 |
| Sähkönkulutuksen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 0 | 0 | 95 | 0 | 0 | 0 |
| Lämmönkulutus [MWh] | 5 777 | 8 225 | 19 155 | 20 577 | 10 673 | 2 230 |
| Lämmönkulutus/tilavuus [kWh/m ³] | 49,4 | 40 | 39,1 | 55,8 | 37,1 | 32,3 |
| Lämmönkulutus/pinta-ala [kWh/m ²] | 171,1 | 151,2 | 178,5 | 191,4 | 137 | 103,3 |
| Lämmönkulutuksen päästöt [t CO ₂] | 1 143,8 | 1 455,8 | 2 624,2 | 4 547,5 | 269 | 4 |
| Kaukolämmön päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 198 | 177 | 137 | 221 | 25,2 | 1,8 |
| Sairaalahöyryntuotanto [MWh] | 2 236 | -** | 52 514,3 | 2 298 | -** | 339 |
| Sairaalahöyrynpolttoaineen päästökerroin [g CO ₂ /kWh] | 199,1 | - | 261,72 | 261,72 | - | 261,72 |
| Sairaalahöyrynpäästöt [t CO ₂] | 445,2 | - | 13 744 | 601,4 | - | 88,7 |
| Jäähdytyksen kulutus [MWh] | -** | -** | 5 070,1 | -** | -** | -** |
| Pinta-ala [m ²] | 33 770 | 54 390 | 107 317 | 108 050 | 77 910 | 21 590 |
| Tilavuus [m ³] | 116 920 | 205 860 | 489 970 | 368 930 | 287 360 | 68 970 |

*HUSin kohteissa sähkönkulutukselle on hankittu alkuperätakuut, joten sähköntuotannosta ei aiheudu hiilidioksidipäästöjä.

**Sairaalahöyryntuotanto ja jäähdytys sisältyy sähkönkulutukseen.

3. HIILINEUTRAALIT RATKAISUT

Hiilineutraalin energiankulutuksen saavuttamiseen vaikuttaa monta eri tekijää. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi paikallisten energiayhtiöiden kaukolämmöntuotannossa käyttämä polttoaine, tuotantotapa ja sairaalan nykyiset tuotantotavat ja laitteistot. Tutkittavissa sairaaloissa sähköenergiankulutus on hiilineutraalia alkuperätakuiden ansiosta pois lukien Tyks T-sairaala, jossa alkuperätakuuta ei ole hankittu. Sähkökulutuksen hiilineutralisointi on jo itsessään iso askel kohti koko energiankulutuksen hiilineutraaliutta, koska tutkittavissa sairaaloissa sähköenergiankulutuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on kohteesta riippuen 40,2–53,3 prosenttia. HUSin kohteiden vuoden 2019 sähköenergiankulutuksen osuus sairaaloiden kasvihuonepäästöistä ennen alkuperätakuiden hankintaa oli 35–45 prosenttia. (HUS 2019) HUS on asettanut tavoitteekseen ilmastoneutraaliuden vuonna 2030. (HUS 2020)

Tampereella Tays keskussairaala on ensimmäinen iso sairaala Suomessa, minkä energiankulutus on hiilineutraalia. Tays keskussairaalan sähköenergiankulutus on ollut vuodesta 2014 asti hiilineutraalia. Myös lämpöenergiankulutuksen hiilineutraalius on saavutettu uusimalla kaukolämpösopimus vuonna 2019, minkä seurauksena Tays keskussairaala käyttää vain päästöttömästi tuotettua kaukolämpöä. Sairaala on viilennetty hyödyntämällä Tampereen sähkölaitoksen kaukojäähdytystä. Ensisijaisesti jäähdytysenergiantuotannossa käytetään Näsijärven syvännettä. (Tays 2019) Tays keskussairaala ei ole laskenut energiankäyttöönään sairaalahöyryntuotantoa. Sairalahöyryn keskussairaala tuottaa maakaasua käyttävällä kattilalla, josta aiheutui vuonna 2020 hiilidioksidipäästöjä 396 t CO₂. Sairalahöyryntuotannossa ollaan kuitenkin asteittain siirtymässä käyttämään sähköenergiaa maakaasun sijaan. Tämänhetkisten arvioiden mukaan Tays keskussairaala tuottaa kaiken tarvitsemansa sairaalahöyryn sähköllä vuonna 2023–2024. Viimeisimmän 10 vuoden aikana keskussairaala on vähentänyt hiilidioksidipäästöjään 97 prosenttia ja energiankulutus neliometriä kohden on laskenut noin kolmanneksen. (Tays 2021)

3.1 Sähköenergia

Kaikenlaisissa rakennuksissa, kuten myös sairaaloissa sähköenergiankulutus on tyypillisesti yksinkertaista ja melko kustannustehokasta muuttua hiilineutraaliksi. Sähköenergiankulutuksen muuttaminen hiilineutraaliksi ei yleensä tarvita suuria investointeja, vaan hiilineutraalius saavutetaan ostamalla sähkökulutuksen verran alkuperätakuuta. Alkuperätakuuta hankitaan 1 MW:n suuruisissa erissä. Käytännössä, kun sähköenergiaa ostetaan sähköverkosta, sähkökulutuksen hiilineutraalius saavutetaan ainoastaan hankkimalla sähkökulutusta vastaava määrä alkuperätakuuta. Alkuperätakuut voi hankkia joko erillään tai yhdessä sähkönsä kanssa. (Motiva 2016) Vuodesta 2020 alkaen HUSin sairaaloille hankittiin alkuperätakuut, jotka takaavat sähkökulutuksen hiilineutraaliuden. (HUS 2020)

Sähköverkosta ostetun sähköenergian tueksi voidaan asentaa aurinkosähköjärjestelmä, joka entistä enemmän hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä sähkökulutuksessa. Sairaalarakennuksen sähkökulutus painottuu päivälle, jolloin myös aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköenergiaa tehokkaimmin. Näin ollen sairaala pystyy tehokkaasti hyödyntämään aurinkosähköä. Kustannustehokkain ja tyypillisin ratkaisu on sijoittaa aurinkosähköjärjestelmä rakennuksen katolle. Aurinkosähköjärjestelmää mitoitettaessa tarkastellaan tapauskohtaisesti sähkökulutuksen rakennetta, jonka avulla voidaan mitoittaa kyseiselle kohteelle sopivan kokoinen voimala. Etelä-Suomessa etelään ja 45 asteen kulmaan suunnatun pinnan vuotuinen kokonaissäteilyenergia on noin 1 200 kWh/m². (Motiva 2020) Tyypillisesti sairaalan

kaltaisissa rakennuksissa, joiden kulutushuippu ajoittuu keskipäivälle aurinkosähköjärjestelmä kattaa tyypillisesti noin 15–20 prosenttia rakennuksen sähkönkulutuksesta. (Korhonen 2016) Aurinkopaneelin käyttöikä on tyypillisesti 20–30 vuotta. (Simola ym. 2018) Sairaalaan sopivan kokoisen voimalan takaisinmaksuaika on viime vuosina laskenut, joten nyky päivänä takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta. (Eskelinen 2020) Tutkittaviin kohteisiin sopiva järjestelmä voisi olla 20–30 kW_p:sta 100 kW_p:n, jolloin järjestelmän kokonaisasennuskustannus on noin 800–1 050 €/kW. (Ahola 2019)

3.2 Lämpöenergia ja jäähdytys

Sairaaloissa lämpöenergiankulutuksella on merkittävä rooli hiilidioksidipäästöissä. Työssä tutkittavien sairaaloiden lämpöenergianlähteen ja sijainnin huomioon ottaen helpoin ja käytännöllisin ratkaisu olisi jatkaa kaukolämpöverkoston hyödyntämistä. Kaukolämpöverkoston käytön jatkaminen vaatisi kaukolämpösopimuksen uusimista hiilineutraaleja tuotantotapoja suosivaan sopimukseen. Tutkittavien sairaaloiden paikallisista energiayhtiöistä Helen, Vantaan Energia, Fortum ja Turku Energia tarjoavat vaihtoehtona uusiutuvaa kaukolämmöntuotantoa. (Helen 2021, Vantaan Energia 2021, Fortum 2021, Turku Energia 2021) Tästä syystä T-sairaala ja Töölön, Peijaksen ja Jorvin sairaalat pystytään muuttamaan hiilineutraaleiksi pelkästään kaukolämpösopimusta uusimalla. Raaseporin ja Hyvinkään sairaaloiden osalta paikalliset lämpöenergiantuottajat eivät verkkosivujensa mukaan tarjoa asiakkailleen hiilineutraalia kaukolämpösopimusta. Raaseporin sairaalan tapauksessa kaukolämpö on lähes hiilineutraalia. Vuonna 2019 Raaseporin Energian lämmöntuotannosta 99,6 prosenttia oli tuotettu biopolttoaineilla ja vuosina 2013–2018 biopolttoaineita käytettiin 99,9 prosenttisesti. (Raaseporin Energia 2021)

Vaihtoehtona, jos kaukolämpöverkkoa ei hyödynnetä lämpöenergiantuotannossa ovat maalämpöpumput. Kaupunkiympäristössä yleisin tapa asentaa maalämpöjärjestelmä on porata kallioon reikä. Järjestelmä hyödyntää kallioon varastoitunutta lämpöä. Poratun reiän syvyys suurissa kohteissa on noin 200–300 metriä. (Motiva 2018) Porausreiästä saadaan tuotettua lämpöenergiaa vuodessa noin 50 kWh/m, joten suurissa kohteissa porausreiکیä tarvitaan useita. (Kuisma 2011) Tyypillisesti osateholle mitoitettu maalämpöpumppu kykenee kattamaan rakennuksen lämpötehon huipputarpeesta noin 60–80 prosenttia. Vuotuisesta energiämäärästä maalämpöpumppu pystyy tuottamaan noin 95–99 prosenttia. Loput vuotuisesta energiantarpeesta voidaan täyttää sairaalahöyryntuotantokattiloilla tai kaukolämmöllä. Jos sairaalassa on käytössä laitekohtainen sairaalahöyryntuotanto eikä kaukolämpöverkkoa voida hyödyntää, voidaan loppuosa lämpöenergiantarpeesta täyttää lämpöpumppujen lämpövästuksilla. (Motiva 2018) Espoon Otaniemessä on myös St1 Deep Heat -pilottiprojekti, jossa lämpöä pyritään tuottamaan kahden 6,5 kilometriä syvän porausreiän avulla. Pilottiprojektin onnistuessa on vastaavanlainen geotermisen lämmön hyödyntäminen mahdollista tulevaisuudessa. (St1 2021)

Jäähdytys on tutkittavissa sairaaloissa tuotettu kahdella eri tavalla. T-sairaala hyödyntää Turku Energian kaukojäähdytystä, joka on tuotettu kokonaisuudessaan uusiutuvalla sähköenergialla. Näin ollen T-sairaalan jäähdytysenergiankulutus on hiilineutraalia. Muissa sairaaloissa on käytössä vedenjäähdytyskoneet, jotka käyttävät sähköenergiaa, joten alkuperätakuiden ansioista myös HUSin kohteet ovat jäähdytysenergian osalta hiilineutraalit. Tutkittavissa sairaaloissa jäähdytys on jo hiilineutraalia, joten muutoksia ei hiilineutraaliuteen vedoten ole tarpeen tehdä. Maalämpöpumppua voidaan hyödyntää myös viilennyksessä asentamalla maalämpöjärjestelmään kompressori. (Motiva 2018) Porausreikää voidaan hyödyntää jäähdytykseen noin 20 kWh/m vuodessa. (Kuisma 2011)

3.3 Sairaalahöyryntuotanto ja varavoimala

Tutkittavissa sairaaloissa on käytössä kahta eri sairaalahöyryn tuotantotapaa. Tuotantotavat ovat laitekohtaiset sähköllä toimivat laitteet ja erillistä polttoainetta käyttävät koko sairaalan sairaalahöyryntarpeen kattava laitteisto. Sairaalahöyryntuotannossa laitekohtaiset sähköä käyttävät laitteet ovat alkuperätakuun ansiosta hiilineutraalia. Näin ollen Peijaksen ja Hyvinkään sairaaloissa sairaalahöyryntuotantoon ei hiilineutraaliuden kannalta tarvitse tehdä muutoksia. Vastaavasti T-sairaalan, Jorvin- ja Hyvinkään sairaaloiden sairaalahöyrylaitteisto käyttää polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä ja Töölön sairaala käyttää polttoaineena maakaasua. Kevyt polttoöljy ja maakaasu ovat fossiilisia polttoaineita, joten näiden polttoaineiden käyttö aiheuttaa huomattavat hiilidioksidipäästöt. Sairaalahöyryntuotannon hiilineutraalisointi vähentäisi kyseisten sairaaloiden kasvihuonepäästöjä merkittävästi. Yksinkertaisin ja helpoin ratkaisu on aloittaa laitteissa hiilineutraalien polttoaineiden käyttö. Maakaasu voidaan korvata esimerkiksi biokaasulla ja kevyen polttoöljyn korvaajana voidaan käyttää muun muassa pyrolyysiöljyä tai muuta laitteistoon soveltuvaa päästötöntä polttoainetta. (Motiva 2021) Toinen vaihtoehto on aloittaa laitekohtainen sähkökäyttöisten laitteiden käyttö, kuten Peijaksen ja Hyvinkään sairaalat käyttävät, minkä myös Tays keskussairaala on arvioinut saavuttavansa vuoteen 2024 mennessä. (Tays 2021)

Kaikissa tutkittavissa sairaaloissa on käytössä erilliset varavoimakattilat, jotka käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Näin ollen myös varavoimalat nykyisellään tuottavat hiilidioksidipäästöjä, vaikka voimalan käyttö tavallisesti rajoittuu vain testikäyttöihin. Hiilineutraali polttoaine varavoimakattiloille on pyrolyysiöljy tai muu kattilaan soveltuva hiilineutraali polttoaine. (Motiva 2020) Varavoimakattilan lisäksi varavoimana poikkeustilanteessa voisi hyödyntää myös aurinkosähköjärjestelmää ja akustoja. Aurinkosähköjärjestelmän ja akustojen avulla sairaalan toimintakykyä poikkeustilanteessa voidaan tehostaa ja toiminta-aikaa pidentää. Aurinkosähköjärjestelmä toimisi osana sähköntuotantoa etenkin päivällä, kun sähköenergiantuotanto on tehokkainta. Akustot toimisivat energiavarastoina silloin kuin sähköenergiantarve on pienempi kuin sähköntuotanto. Poikkeustilanteessa, jossa varavoimalaa tarvitaan, on usein ongelmia myös valtakunnallisessa sähköverkossa, jolloin aurinkovoimalan ylituotantoa ei aina ole mahdollista syöttää valtakunnalliseen sähköverkkoon. Erityisesti tässä tilanteessa akusto toimisi energiavarastona. Varastoitua energiaa voidaan käyttää esimerkiksi ilta- ja yöaikaan, kun aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotanto on pientä.

3.4 Aiheesta tehtyjä tutkimuksia

Työn aiheesta ei löydy kovinkaan paljoa tutkimuksia varsinkaan pohjoisemmilta leveyspiireiltä, jossa ilmasto ja sairaalan energiantarve esimerkiksi lämmitysenergian suhteen on erilainen kuin lämpimämmissä ilmastoissa. Lisäksi lämpimämmän ilmaston maissa jäähdytyksen tarve on esimerkiksi Suomeen verrattuna suurempi. Aiheesta tehdyt tutkimukset sijoittuvat ilmastoltaan lämpimämpiin maihin, kuten Kreikkaan. Suoraan sairaaloiden tai muiden julkisten rakennusten energiankäytön hiilineutraalisoinnista ei muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ole tutkittu. Tutkimuksissa usein käsitellään enemmän rakennusten energiatehokkuutta ja rakennusteknisiä parannuksia, kuten eristyksen tehostaminen tai valaistuksen uusimista esimerkiksi loisteputkista led-valaisimiin. Kreikan Kreetan saarella sijaitseviin sairaaloihin on perehdytty kahdessa eri tutkimuksessa, jotka on julkaistu kansainvälisessä vertaisarvioudussa Journal of Engineering and Architecture -lehdessä. (Journal of Engineering and Architecture 2021)

Joulukuussa 2015 on julkaistu tutkimus, jossa tutkitaan sairaalan energiankulutusta ja millä tavalla sen saisi tuotettua hiilineutraalisti. Tutkimuksessa on käytetty esimerkkinä sairaalaa, joka sijaitsee Kreetan Haniassa. Tutkittava sairaala on pinta-alaltaan 15 000 m² ja vuotuinen energiankulutus 5 490 MWh. Energiankulutukseen on huomioitu sähkönkulutus, lämpimän veden tuotanto, lämpöenergia ja jäähdytys. Tutkimuksessa vuotuisen sähköenergiantarpeen täyttää aurinkosähköjärjestelmä, jonka tarkoituksena on tuottaa kokonaisuudessaan sairaalan tarvitsema sähköenergia. Lämpöenergian ja lämpimän veden tuotantoon on esitetty kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa käytetään lämpimän veden tuotantoon pääosin aurinkolämpöjärjestelmää, joka kattaa noin 75 prosenttia lämpimän veden tuotannosta. Loput 25 prosenttia tuotetaan polttamalla kiinteää biomassaa polttokattilassa. Kiinteää biomassaa käytetään myös kokonaisuudessaan täyttämään lämpöenergiantarpeen. Toinen vaihtoehto tuottaa myös 75 prosenttia lämpimän veden tuotannosta aurinkolämpöjärjestelmällä, mutta loput 25 prosenttia ja kokonaisuudessaan lämpöenergiantarpeen täyttää matala entalpiiset maalämpöpumput. Jäähdytys molemmissa vaihtoehdoissa on toteutettu lämpöpumpuilla, joiden kulutus on noin 15 prosenttia vuotuisesta sähkönkulutuksesta. Yllä mainituilla toimilla energiankulutus tuotetaan hiilineutraalisti, jonka seurauksena kyseinen sairaala vähensi hiilidioksidipäästöjä yli 3 000 t CO₂ verrattuna, jos sairaala jatkaisi fossiilisten polttoaineiden ja muiden päästöjä aiheuttavien energiantuotantotapojen käyttöä. Tutkimuksessa esitellyistä kahdesta vaihtoehdoista pääomakustannuksiltaan biomassakattiloiden käyttö olisi edullisempaa, mutta maalämpöä hyödyntävän vaihtoehdon käyttökustannukset ovat alhaiset, koska kustannuksia aiheuttaa vain järjestelmän käyttämä sähköenergia. Tutkimuksessa ei ole mainittu tai käsitelty sairaalahöyryntuotantoa. (Vourdoubas 2015)

Toinen aiheeseen liittyvä tutkimus on julkaistu vuonna 2018. Siinä tutkitaan Venizeliosin sairaalaa Kreetalla. Sairaalan pinta-ala on 26 172 m² ja vuotuinen energian kokonaiskulutus on noin 7 300 MWh. Tutkimuksessa energiankulutukseen on otettu mukaan lämpimän veden tuotanto, sähköenergia, lämpöenergia ja jäähdytys. Lämpimän veden tuotannon kattaa kokonaisuudessaan aurinkolämpöjärjestelmä, joka sijoitettaisiin sairaalan katolle ja sen kattava pinta-ala olisi noin 1 400 m². Sairaalan tarvitsema sähköenergia tuotetaan kokonaisuudessaan aurinkosähköjärjestelmällä niin, ettei sähköverkosta tarvitse ostaa sähköenergiaa lainkaan. Jäähdytykselle on annettu yksi vaihtoehto, joka on matala entalpiiset maalämpöpumput. Sairaalan tarvitsema lämpöenergia tuotetaan joko kiinteää biomassaa käyttävässä kattilassa tai matala entalpisella lämpöpumpulla. Biomassakattilassa käytettäisiin paikallista biomassaa esimerkiksi oliivipuuta. Taloudellisesti tarkasteltuna vaihtoehto, joka käyttää biomassakattilaa on pääomainvestoinniltaan edullisempi. Kun otetaan huomioon vuosittaiset polttoainesäästöt pidemmällä aikavälillä vaihtoehto, joka käyttää lämmöntuotantoon maalämpöpumppuja on edullisempi. (Vourdoubas 2018)

4. ENERGIATEHOKKUUSPARANNUS JA HIILINEUTRAALIEN RATKAISUJEN TALOUDELLINEN MERKITYS

Energiatehokkuus on keskeisessä roolissa, kun tarkastellaan rakennusten energiankulutusta. Energiatehokkuusparannuksilla voidaan tehostaa ja kehittää rakennusten energiankäyttöä. Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiavirasto ja Kuntaliitto ovat laatineet energiatehokkuussopimuksen, jonka nykyinen versio on laadittu vuosille 2017–2025. Sopimus pyrkii tehostamaan energiankäyttöä ja noudattamaan EU:n säädöksiä. Lisäksi valtio tukee uusia energiatehokkaan teknologian käyttöönottoa ja tapauskohtaisesti muita energiatehokkuusinvestointeja. Sopimus on vapaaehtoinen, mutta sopimukseen on liitytty laaja-alaisesti. Myös HUS-kuntayhtymä ja Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin kuntayhtymä ovat liittyneet sopimukseen. (Kunta-alan energiatehokkuussopimus 2016)

Knuutilan tutkimuksessa (Knuutila 2019) suunniteltiin ja vertailtiin julkiseen rakennukseen energiatehokkuusparannuksia. Kohteena, johon energiatehokkuusparannuksia suunniteltiin ja vertailtiin, oli Lappeenrannan kaupungintalo. Rakennuksen katolle ehdotettiin asennettavaksi 36 kW_p aurinkosähköjärjestelmä. Paneelit asennettiin etelään 15 asteen kulmaan, jolloin sisäiseksi koroksi (IRR) saatiin 5,7 prosenttia. Tutkimuksessa efektiiviset korot on laskettu 20 vuoden ajalta. Maalämpöpumpulle efektiiviseksi koroksi on saatu 13–24,1 prosenttia. Alhaisimmat IRR arvot on saatu tilanteissa, joissa rakennukseen on rakennettu vain maalämpöpumppu tai maalämpö ja aurinkosähköjärjestelmä. Pelkälle maalämpöpumpulle koroksi on saatu 13 prosenttia ja maalämpöpumpulle ja aurinkosähköjärjestelmälle 13,4 prosenttia. Toiseksi suurin IRR on saatu ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) kanssa, mikä on 19,9 prosenttia. Paras IRR 24,1 prosenttia on saatu ikkunoita kunnostamalla, missä ikkunoiden lämmönläpäisykykyä pienennettiin 2,1 W/m²K arvoon 1 W/m²K. Kun tarkastellaan ikkunoiden eristävyysparantamista yksittäisenä investointina efektiivisen koron näkökulmasta arvot jäävät negatiiviseksi. Kuitenkin ikkunoiden eristyksen parantaminen vaikuttaa positiivisesti lämmönkulutukseen, joten ikkunoiden kunnostaminen yhdessä maalämpöpumpun kanssa voisi olla kannattavaa, koska tällöin maalämpöpumppu voidaan mitoittaa pienemmäksi ja sähkönkulutus pienenee. Myös lämmöntalteenotto on kannattava investoinnin ja energiatehokkuuden kannalta. Tarkasteltaessa ainoastaan lämmöntalteenottoa LTO-investoinnin efektiivinen korko on 18,5 prosenttia. Lämmöntalteenotossa lämpötilahyötysuhdetta parannettiin 37 prosentista 70 prosenttiin vaihtamalla uusi LTO-laitteisto. Kun lämmöntalteenottoa parannetaan, maalämpöpumput voidaan säätää pienemmälle, jolloin sähkönkulutus pienenee.

Knuutilan tutkimuksen tuloksien pohjalta voidaan sanoa, että myös sairaaloissa kyseiset efektiiviset korot ovat samankaltaisia, koska tutkimuksessa kohteena olleen julkisen rakennuksen ja sairaalan energiankulutuksessa on yhtäläisyyksiä. Näin ollen tutkittaviin kohteisiin on kannattavaa asentaa sähköverkosta ostetun sähkön tueksi aurinkosähköjärjestelmä. Myös luvulla 3.2 esitelty vaihtoehtoinen lämpöenergiantuotantomuoto maalämpö on kannattava investointi, jos kaukolämpöverkkoa ei voida tai haluta hyödyntää. Lämpöenergiankulutuksessa voidaan myös säästää parantamalla kohteen ikkunoiden eristävyyttä ja lämmöntalteenottoa.

Tutkittavissa sairaaloissa tehdään myös muita muutoksia energiankulutuksen hiilineutraaliuden saavuttamiseksi. Varavoimaloiden polttoaineen vaihto esimerkiksi pyrolyysiöljyyn ei ole taloudellisesti kovinkaan merkittävä, koska varavoimaloita käyttö testikäyttöjen ulkopuolella on vähäistä. Vastaavasti sairaalahöyryntuotanto kohteissa, joissa maakaasu ja kevyt

polttoöljy muutetaan biokaasuun ja pyrolyysiöljyyn on suurempi taloudellinen merkitys. Pitää kuitenkin ottaa huomioon, että tavoitteena on hiilineutraali energiankulutus, mikä väistämättä nykyhetkessä nostaa polttoainekustannusta. Lisäksi kyseisessä tapauksessa ei ole tarvetta investoida uuteen sairaalahöyryntuotantolaitteistoon pois lukien mahdollisia muutoksia, joita pitää tehdä, jotta hiilineutraali polttoaine soveltuu nykyiseen kattilaan. Toisaalta pitkällä aikavälillä investointi sähköllä toimiviin laitekohtaiseen sairaalahöyryntuotantoon voisi olla kannattavampaa kuin hiilineutraalien polttoaineiden käyttö nykyisissä voimaloissa. Hiilineutraaliuden kannalta työssä ei tehty muutoksia jäähdytyksen osalta. Tutkitavissa sairaaloissa on käytössä joko vedenjäähdyttimet tai kaukojäähdytys, joten hiilineutraalius on jo saavutettu eikä investointeja ole tarpeen tehdä. Sähköenergian hinnanvaihtelu myös vaikuttaa sähköenergian ostokustannuksiin. Hinnanvaihtelun turvaamiseksi vaihtoehtona olisi tehdä joko osalle tai kaikelle sähköenergiatarpeelle pitkäaikainen sähkönostosopimus eli PPA-sopimus. PPA-sopimus tarkoittaa pitkäaikaista tyypillisesti 10–25 vuoden mittaista sähkönostosopimusta, missä suuri sähkönkäyttäjä ostaa sopimuksessa sovitun määrän sähköä tietyllä hinnalla sopimusajan puitteissa. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021) PPA-sopimus voitaisiin tehdä joko yksittäisen sairaalan tai koko sairaanhoitopiirin osalta. Sopimus mahdollistaisi, että sähkö ostettaisiin aina tietyllä hinnalla eikä sähkönhinnanvaihtelu aiheuta lisäkustannuksia.

Kun tehdään edellä mainittuja hiilineutraaleja ratkaisuja, niillä on myös välillisiä vaikutuksia. Julkisessa keskustelussa esille tuodaan usein ilmastonmuutos ja sen torjuminen, joten asiakkaiden ja potilaiden kulutuskäyttäytymiseen vaikuttaa yhä enemmän ilmastonmuutosta hidastavat toimet ja vastuulliset arvot. Tehdyistä hiilineutraaleista investoinneista on myös välillistä hyötyä esimerkiksi markkinoinnissa ja imagon muodostamisessa. (Weber 2008)

5. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin kuuden eri sairaalan energiankulutusta ja analysoitiin kulutuksen jakaamaa. Lisäksi tutkittavien sairaaloiden kulutustietoja vertailtiin toisiinsa. Analysoitujen energiankulutusten pohjalta esitettiin ratkaisuja hiilineutraalille energiankulutukselle. Työssä energiankulutukseen kuuluivat varavoimala, sairaalahöyryntuotanto, sähkö-, lämpö- ja jäähdytysenergia.

Merkittävä osa sairaalan hiilijalanjäljestä aiheutuu energiankulutuksesta. HUSin sairaaloissa ennen alkuperätakuiden hankkimista vuonna 2019 sähkö- ja lämpöenergian päästöt olivat kumpikin noin 35–45 prosenttia sairaalan kokonaispäästöistä. Tässä työssä hiilineutraalius rajattiin kattamaan vain itse energiantuotannossa aiheutuvat päästöt, eikä esimerkiksi tuotantolaitteistojen valmistuksesta aiheutuvia päästöjä oteta huomioon.

Sairaaloista selvitettiin saadun datan perusteella vuoden 2019 energiankulutukset ja niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Sairaaloiden energiankulutusten rakennetta vertaillaessa huomattiin, että sähkönkulutus keskittyy arkipäiville ja aamu- ja keskipäivälle, jolloin huippukulutus saavutetaan noin kello 8–13. Lämpöenergiankulutukseen vaikuttaa suoraan verrannollisesti ympäröivä ilmasto, joten lämpöenergiankulutus on suurinta kylminä talvikuukausina ja vähäisintä kesällä. Tällä hetkellä lähes kaikissa kohteissa sähköenergia on hiilineutraalia alkuperätakuiden ansiosta. Vastaavasti lämpöenergianlähteenä oli kaikissa kohteissa kaukolämpö, joissa päästöjen määrä riippuu paikallisten energiayhtiöiden käyttämistä polttoaineista. Jäähdytykseen käytetään kohteissa vedenjäähdyttimiä tai kaukojäähdytystä, joista ei aiheudu tällä hetkellä hiilidioksidipäästöjä. Sairalahöyryä tutkittavissa sairaaloissa tuotettiin joko sähköllä tai lämpökattiloilla, mitkä käyttivät polttoaineenaan maakaasua tai kevyttä polttoöljyä. Varavoimalana kaikissa sairaaloissa toimi kevyt polttoöljykattila.

Nykyisten energiantuotantotapojen pohjalta lähdettiin selvittämään mahdollisuuksia hiilineutraaliin energiantuotantoon. Sähköenergian hiilineutralisoimiseksi paras tapa on hankkia sähkönkulutuksen suuruinen määrä alkuperätakuita. Verkosta ostetun sähkö lisäksi on mahdollisuus asentaa sairaaloiden katoille aurinkosähköjärjestelmä. Kaukolämpö ei tällä hetkellä ole kohteilla hiilineutraalia, mutta osa sairaaloiden paikallisista energiayhtiöistä tarjoaa hiilineutraalia kaukolämpöä, joten kaukolämpösopimuksen uusiminen voisi olla yksi ratkaisu. Toinen vaihtoehto lämmitysenergiantuotantoon on maalämpö, jota voitaisiin hyödyntää myös jäähdytyksessä. Kaikissa kohteissa jäähdytys on tällä hetkellä hiilineutraalia, koska jäähdytyksen tuotannossa käytetty sähkö on hiilineutraalia. Myös kohteet, joissa on käytössä sähkökäyttöiset sairaalahöyryntuotantolaitteistot ovat sähkö alkuperätakuiden ansiosta hiilineutraaleja. Muissa kohteissa on käytössä sairaalahöyryntuotantoon maakaasua ja kevyttä polttoöljyä käyttävät kattilat. Näiden fossiilisten polttoaineiden tilalle voitaisiin vaihtaa esimerkiksi biokaasu ja pyrolyysiöljy. Pyrolyysiöljy soveltuisi myös varavoimaloiden polttoaineiksi, koska kohteissa varavoimaloiden polttoaineena toimii kevyt polttoöljy.

Edellä mainituista hiilineutraaleilla vaihtoehdoilla on myös taloudellista merkitystä. Alkuperätakuut ovat edullinen vaihtoehto sähköenergian hiilineutralisoimiseksi, ja aurinkosähköjärjestelmänkin takaisinmaksuaika on vain noin 10 vuotta. Varavoimaloissa polttoaineen vaihto ei ole vähäisen käytön takia taloudellisesti suurta merkitystä. Maalämmön osalta pääomakustannukset lisäävät kustannusta, mutta maalämpö on käyttökustannuksiltaan hyvin edullinen varsinkin, jos samalla parannetaan lämmöntalteenoton energiatehokkuutta. Lisäksi hiilineutraaleilla investoinneilla on myös muita välillisiä vaikutuksia, kuten markkinointietu ja imagon parantuminen.

LÄHTEET

Koljonen, T., Aakkula, J., Honkatukia, J., Soimakallio, S., Haakana, M., Hirvelä, H., ... & Tuomainen, T. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035-Skenaariot ja vaikutusarviot. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Greenhouse Gas Protocol. About Us. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 24.04.2021]. Saatavilla: <https://ghgprotocol.org/about-us>.

United Nation Framework Convention on Climate Change. 2015. The Paris Agreement. Pariisi: Yhdistyneet kansakunnat.

Hiilineutraalisuomi.fi. 2021. Elinkaaripäästöjen laskennalla energiantuotannon ytimeen: aurinko-, geo-, tuuli-, vesi-, ja ydinvoima puhtaimpia energialähteitä. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 10.05.2021]. Saatavilla: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Elinkaaripaastojen_laskennalla_energiant\(58629\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Elinkaaripaastojen_laskennalla_energiant(58629)).

Säisä, T. 2015. Varavoimalaitteet sairaalassa. Kuopion yliopistollinen sairaala. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.03.2021]. Saatavilla: https://ssty.fi/sahkojaos/download/sairaaloiden_sahkoteknikan_ajankohtaispaiva_25.11.2015_helsingissa/Varavoimaan_liitettavat_seikat_sairaalassa-visoita_ja_linjauksia_case_KYS2015.pdf.

Bhatia, P., Cummis, C., Rich, D., Draucker, L., Lahd, H., & Brown, A. 2011. Greenhouse gas protocol corporate value chain (scope 3) accounting and reporting standard. Greenhouse Gas Protocol.

Karliner, J., Slotterback, S., Boyd, R., Ashby, B., Steele, K. 2019. Health care's climate footprint. Health Care Without Harm.

HUS. HUSin vuosi 2019. Hiilijalanjälki pysyi ennallaan. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 23.03.2021]. Saatavilla: <https://husinvuosi.fi/vastuullisuus/ymparisto/hiilijalanjalki/>.

Helmiö, K. (2017). Sairaalan höyryverkoston tarkastelu. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Oulu

SFS 6000-7-710. 2017.Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-710:Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

HUS. HUSin kuluttama sähkö tuotetaan nyt bioenergialla. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 25.03.2021]. Saatavilla: <https://www.hus.fi/ajankohtaista/husin-kuluttama-sahko-tuotetaan-nyt-bioenergialla>.

Covenant of Mayors. The emission factors. [verkkodokumentti]. [viitattu: 26.05.2021]. Saatavilla: https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf.

Fingrid. Sähkömarkkinat. Alkuperätakuu. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 25.03.2021]. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/alkuperatakuun-sertifikaatti/>.

Weisz, U., Pichler, P. P., Jaccard, I. S., Haas, W., Matej, S., Bachner, F., ... & Weisz, H. (2020). Carbon emission trends and sustainability options in Austrian health care. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104862.

HUS. Valkama, J. 2020. Sairaaloiden energiankulutuksen aineistoa. Sähköpostiviesti. Viestin saaja: O.H.

Helen. Energian ominaispäästöt. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 19.03.2021]. Saatavilla: <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/sahkon-ja-lammon-ominaispaastot>.

Tilastokeskus. Polttoaineluokitus 2021. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 18.03.2021]. Saatavilla: https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html.

Vantaan Energia. Kaukolämmön ominaispäästöt. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 18.03.2021]. Saatavilla: <https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2019/sahkon-lammon-tuotanto/>.

Fortum. Kaukolämmön tuotannon ja hiilidioksidin ominaispäästöt ja tuotantojakauma. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 19.03.2021]. Saatavilla: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisueille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolampon-yha-puhtaammin>.

Raaseporin energia. Oman tuotannon hiilidioksidipäästöt. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 19.03.2021]. Saatavilla: <https://re.fi/fi/meista/ymparisto/>.

Hyvinkään lämpövoima. HLV ympäristöraportti 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 19.03.2021]. Saatavilla: https://hlv.fi/assets/files/pdf/ymparistoraportti/hlv_ymparistoraportti_2019.pdf.

Ilmatieteen Laitos. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 24.04.2021]. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>.

Tays. 2019. Tays Keskussairaala energiankäyttö hiilidioksidipäästötöntä ensimmäisenä isona sairaalana. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 19.03.2021]. Saatavilla: https://www.tays.fi/fi-FI/Tays_Keskussairaalan_energian kaytto_hiil.

Tays. 2021. Tays keskussairaalan energiankulutuksen hiilineutraalius. Sähköpostiviesti. Viestin saaja: O. H.

Motiva. 2016. Kaksi tapaa vähentää sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästöjä kunnassa. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.04.2021]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/14877/Kaksi_tapaa_vahentaa_sahkonkulutuksen_hiilidioksidipaastoja_kunnassa.pdf.

Motiva. 2020. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 16.04.2021]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa.

Korhonen, M. 2016. Sähkönkulutusikäyrän ja simuloidun sähkötuotannon mukaan optimoitu aurinkosähköjärjestelmämitoitus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta.

Ahola, J. 2019. National Survey Report of PV Power Applications in Finland 2019. Lappeenranta: IEA-PVPS.

Simola, A., Kosonen, A., Ahonen, T., Ahola, J. Korhonen, M. Hannula, T. 2018. Optimal dimensioning of a solar PV plant with measured electrical load curves in Finland. Solar Energy. Volume 170.

Eskelinen, M. 2020. Aurinkovoimalan kannattavuus 2020-luvulla. Opinnäytetyö. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Kuopio.

Motiva. 2019. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.04.2021]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiöt.pdf.

St1. 2021. Puhdasta geolämpöä maan syvyyksistä. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 16.04.2021]. Saatavilla: <https://www.st1.fi/geolampo>.

Kuisma, I. 2011. Lämpöpumpputeknologian hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

HUS. Ajankohtaista. HUS matkalla kohti hiilineutraaliuutta. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 14.04.2021]. Saatavilla: <https://www.hus.fi/ajankohtaista/hus-matkalla-kohti-hiilineutraaliuutta>.

Helen. Uusiutuva kaukolämpö kiinteistöille. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 23.03.2021]. Saatavilla: <https://www.helen.fi/yrietykset/lampoa-yrityksille/kaukolampoa-yritykselle/uusiutuva-kaukolampoa>.

Vantaan Energia. Uusiolämpö on edelläkävijän valinta. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 23.03.2021]. Saatavilla: <https://www.vantaanenergia.fi/lampo/uusiolampo/>.

Fortum. Fortum EkoPlus varmistaa kaukolämpösi uusiutuvilla tuotettuna. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 24.03.2021]. Saatavilla: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytyks/kaukolammon-tuotteet-ja-palvelut-taloyhtiöille-FortumEkoPlus>.

Turku Energia. Ekotakuu kaukolämpösopimuksessa. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 05.04.2021]. Saatavilla: <https://www.turkuenergia.fi/yritykset/ekotakuu-yrityksille/>.

Motiva. Nestemäiset biopolttoaineet. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 24.03.2021]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet.

Journal of Engineering and Architecture. 2021. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 26.05.2021]. Saatavilla: <http://jea-net.com/>.

Vourdoubas, J. 2015. Creation of zero CO2 Emissions Hospitals Due to Energy Use A Case Study in Crete-Greece. Journal of Engineering and Architecture, Vol. 3, No. 2, 79-86.

Vourdoubas, J. 2018. Energy Consumption and Carbon Emissions in Venizelio Hospital in Crete, Greece: can it be Carbon Neutral?. Journal of Engineering and Architecture, Vol. 6, No. 1, 19-27.

Tyks. 2021. Tyks T-sairaalan energiankulutuksen tietoja. Sähköpostiviesti. Viestin saaja: O.H.

Turku Energia. Sähköenergian tuotanto ja alkuperä. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 02.05.2021]. Saatavilla: <https://www.turkuenergia.fi/kotitalouksille/tietoa-sahkostamme/energiantuotanto-ja-energian-alkupera/>.

Turku Energia. Vuosikertomus 2019. [verkkajulkaisu]. [viitattu: 03.04.2021]. Saatavilla: <https://vsk2019.turkuenergia.fi/vastuullisuusraportti/ymparistovastuu/energiahankinta/>.

Energiatehokkuussopimukset. 14.10.2016. Kunta-alan energiatehokkuussopimus. Helsinki: Suomi.

Knuutila, M. 2019. Energy system and energy efficiency improvements and their economic impacts in public buildings. Diplomityö. LUT-yliopisto. Lappeenranta.

Suomen Tuulivoimayhdistys. Pitkäaikainen sähkönostosopimus (PPA). [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.05.2021]. Saatavilla: <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/media/pitk aikainen-sahkonostosopimus-ppa.pdf>.

Weber, M. 2008. The business case for corporate social responsibility: A company-level measurement approach for CSR. *European Management Journal*, 26(4), 247-261.